Ein Beitrag zur Erkenntnis der Veränderungen der sogenannten physikalischen Bodeneigenschaften durch Frost, Hitze und die Beigabe einiger Salze.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der philosophischen Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Königlichen Universität zu Breslau

vorgelegt und mit ihrer Genehmigung veröffentlicht

von

Willy Czermak

aus Ober-Andritz bei Graz (Steiermark).

Dienstag, den 4. Juli 1911, vormittags $11^1/_2$ Uhr

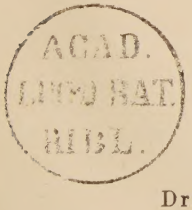
in der Aula Leopoldina

Vortrag:

„Über die Verwertung des Eiweisses durch ausgewachsene Tiere"

und

Promotion.



Merseburg.

Druck von Friedrich Stollberg.

1911.

Gedruckt mit Genehmigung der philosophischen Fakultät der Königl. Universität zu Breslau.

Referent: Herr Prof. Dr. Th. Pfeiffer.

Das mündliche Examen hat stattgefunden am 21. Dezember 1910.

Dem Andenken meiner Mutter.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543115_0187

Die Bedeutung der Erkenntnis des kolloidalen Zustandes der Materie seit der Entdeckung Thomas Grahams[1]) für unser gesamtes heutiges Wissen ist eine so hervorragende, dass es wohl kaum ein naturwissenschaftliches Forschungsgebiet mehr gibt, das nicht der Kolloidchemie wichtige Anregung und die Lösung manches bis dahin ungeklärten Problems verdankt hätte.

Die Tatsache, dass die wichtigsten Bestandteile des organischen Lebens, Eiweiss, Zellulose und Stärke sich gewöhnlich im kolloiden Zustande befinden, dass die Plasmata und lebenden Gewebe unserer Nutzpflanzen zu den Kolloiden zu rechnen sind, lässt es erklärlich erscheinen, dass die Kolloidchemie imstande ist, eine ganze Reihe der wesentlichsten biologischen und physiologischen Vorgänge in der Natur zu erklären und andererseits auch einen hervorragenden Einfluss auf die wichtigsten Lebensfunktionen von Tier und Pflanze zu nehmen vermag. In der Tat haben gerade die Wissensgebiete, die sich die Erforschung der vitalen Vorgänge in der Natur zur Aufgabe gemacht haben, mögen sie nun heissen wie sie wollen, in der Kolloidchemie die Möglichkeit gefunden, eine ganze Anzahl der schwierigsten und kompliziertesten Fragen zu beantworten.

Bedenkt man ferner, dass sich bei der enormen Fülle des gebotenen Materials kein Wissenszweig, wie es wohl früher geschah, streng in sich abschliessen kann, dass jede Wissenschaft zu ihrem Aufbau einer ganzen Anzahl von Hilfszweigen bedarf

[1]) Ann., 121, 1—77, 1862.

und man bei jeder wissenschaftlichen Forschung schliesslich zu einem Punkte kommt, wo die angewandte Disziplin versagt, und man sich aus einem anderen, vielfach sogar ganz fern liegenden Wissensgebiet Ergänzung holen muss, so wird es klar, dass jede Förderung, die ein Spezialfach erfährt, auch der Allgemeinheit zugute kommt und so einen Baustein in dem ganzen grossen Gebäude wissenschaftlicher Forschung darstellt.

So hat denn die Kolloidchemie auch auf unsere moderne Agrikulturchemie ihren bedeutsamen Einfluss auszudehnen gewusst, da ja sowohl im animalischen wie im pflanzlichen Organismus Kolloide eine wichtige Rolle spielen. Der Eiweissumsatz, die komplizierte tierische Verdauung, die Verwertung und der Transport der Nährstoffe in der Pflanze, dies alles sind Vorgänge, bei denen Kolloide in hervorragendem Maſse tätig sind.

Aber nicht auf diesen Gebieten allein hat die Agrikulturchemie in der Kolloidchemie eine wertvolle Hilfe gefunden, auch bei der Untersuchung des Bodens, jenes so wichtigen Faktors in unserer Landwirtschaft, ist sie ihr unentbehrlich geworden. Tatsächlich finden sich im Boden Kolloidsubstanzen in so grosser Menge und Variation, dass es ein recht naheliegender Gedanke war, sie als wichtige Unterscheidungsmerkmale sowie zur Klassifikation der Böden zu verwenden und mit Hilfe der Kolloidchemie eine Reihe grundlegender Erscheinungen im Boden zu untersuchen, für die bisher keine genügende Erklärung hatte gefunden werden können.

Tatsachen, die dem praktischen Landwirt schon längst bekannt waren, wie die Wirkung der Atmosphärilien, des Düngers und des Pflanzenwuchses selbst auf den Boden, auch wissenschaftlich zu erklären, blieb der Kolloidchemie vorbehalten, soweit es sich nicht um rein chemische oder physikalische Vorgänge handelte.

Obwohl die Kolloidchemie als selbständiger Forschungszweig erst auf ein Alter von kaum fünf Jahrzehnten zurückblicken kann, ist ihr Gebiet heute bereits derart gewachsen, dass es kaum möglich ist, ihre Theorie in den Rahmen einer kurzen Abhandlung zu fassen, so dass ich mich darauf beschränken muss, nur die für die vorliegende Arbeit besonders wichtigen Kapitel anzuführen.

Unter den für die Agrikulturchemie besonders in Frage kommenden Kolloiden versteht man ein Gemisch von Wasser und festen oder halbflüssigen Teilchen,[1]) das vielfach wegen der geringen Grösse der letzteren dem blossen Auge wie dem gewöhnlichen Mikroskop als homogene Flüssigkeit erscheint. Die Grösse der in diesen Gebilden enthaltenen festen Partikelchen (der sogen. dispersen Phase) schwankt ausserordentlich und man vermag unter gewisser Voraussetzung die Inhomogenität auch makroskopisch sichtbar zu machen. In diesem Falle spricht man nicht mehr von Kolloiden, sondern von mechanischen Aufschwemmungen, Suspensionen.

Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass nach den neuesten Forschungsergebnissen P. P. von Weimarns[2]) prinzipiell jeder Körper in den Kolloidzustand übergeführt werden kann, während die Urform jeder Materie, auch der flüssigen und gasförmigen, im kristallinischen, vektorialen Zustand zu suchen ist. Wenn daher der Einfachheit halber kurzerhand von Kolloiden die Rede sein wird, so hat man sich darunter stets Stoffe vorzustellen, deren gewöhnlicher Zustand eben der Kolloidzustand ist. Es sind dies im allgemeinen die Eiweisskörper, Stärkemehl, Albumin, Karamel, Leim, die Gummiarten und eine grosse Anzahl animalischer und vegetabilischer Substanzen. Von anorganischen Körpern zählen hierher die wässrigen Lösungen vieler Säuren, so der Zinnsäure, der Kieselsäure und Wolframsäure, ferner der Tonerde, des Eisenoxyds u. a. Schliesslich sind zu erwähnen die Sulfide der Schwermetalle, einige besonders hergestellte Metalle selbst[3]) und zahlreiche organische und anorganische Salze.

Entsprechend dem Brauche der Kolloidchemie werden wir auch die Kolloide des Ackerbodens einzuteilen haben in[4]) echte oder Suspensoide und unechte oder Emulsuide, neben denen auch viele echte Suspensionen vertreten sind. Von allen drei Gruppen finden sich im Boden zahlreiche Repräsentanten, die nach Ehrenberg[5]) folgendermassen zu rubrizieren wären:

---

[1]) Ehrenberg, Mitteil. d. landw. Inst. d. Universität Breslau 1908, IV. Bd., H. 3, S. 449.

[2]) Kolloidzeitschr. III, S. 167, 1908.

[3]) Z. B. Kolloides Gold. Szigmondy, Ann. 309, 29—54, 1898.

[4]) Hardy, Proc. Roy. Soc. London, 66, 95—109, 1899.

[5]) Ehrenberg, Kolloidzeitschr. 1908, Bd. III, S. 195.

1. Kolloide:

Humussubstanzen,
Organismenschleime,
Tonsubstanz,
Bakterienmasse.

2. Suspensionen:

a) Kolloider Materie:
Tonteilchen,
Bakterien,
Humusteilchen.

b) Kristalloider Materie:
Feinste Sande, die nicht nur aus Quarz, sondern auch aus Feldspat und Glimmer bestehen können.

Die Faktoren, die auf die genannten Bodenkolloide einwirken, pflegen nun mannigfacher Art zu sein, wie auch die Richtung der Beeinflussung wechselt. Wir unterscheiden Einwirkungen physikalischer und chemischer Natur, ferner solche zusammengesetzter Kräfte, wie biologisch-chemisch-physikalische Einwirkungen.

Die grösste Bedeutung für die Umgestaltung der äusseren Struktur des Bodens, für die Aufnahme- und Aufspeicherungsfähigkeit von Nährstoffen haben zweifellos die Veränderungen der sogen. physikalischen Bodeneigenschaften, die auch der Pflanzenwurzel in den meisten Fällen ein leichteres Vordringen und günstigere Lebensbedingungen schaffen.

Fragen wir uns, was unter den sogen. physikalischen Bodeneigenschaften zu verstehen ist, so ergeben sich als solche in erster Linie[1]) Bindigkeit und wasserhaltende Kraft.

Beide Werte sind für die Entwicklung der Pflanze von grösster Bedeutung. Die Bindigkeit bestimmt die Schwierigkeit, die der Boden der Bearbeitung entgegensetzt und erleichtert oder erschwert daher auch der Pflanzenwurzel das Vordringen im Boden. Sie regelt die Möglichkeit der Durchsickerung und Durchlüftung des Bodens und muss daher jederzeit zur Beurteilung der Bodeneigenschaften herangezogen werden. Im gleichen Mafse wichtig ist die Wasserkapazität. Sie sowohl wie die Bindigkeit vermögen im Extrem schädlich, im mässigen Mafse günstig auf die Bodenbeschaffenheit in ihrer Eignung für den Pflanzenwuchs einzuwirken, lassen sich beide durch die gleichen Mittel verändern, und haben naturgemäss auch gleichen Ursprung.

---

[1]) Ehrenberg, Mitt. d. landw. Inst. d. Univ. Breslau 1908, IV, H. 3.

Mitscherlich[1]) hat den unzweideutigen Beweis erbracht, dass Bindigkeit, wie Wasserkapazität, in gleicher Weise von der Bodenoberfläche abhängen, d. h. von der Summe der Oberflächen aller einzelnen Bodenpartikelchen.

Eine Veränderung der Bodenoberfläche muss demnach auch eine solche der physikalischen Bodeneigenschaften zur Folge haben bezw. muss man aus den messbaren Unterschieden in den letzteren auch eine eingetretene Oberflächenvergrösserung oder Verkleinerung berechnen können.

Da nun ferner der Boden, wie gesagt, neben einzelnen Mineralbestandteilen einen ausserordentlich hohen Gehalt an Kolloiden, zwar nicht prozentisch, aber dem Wirkungswerte nach, aufweist, so muss auch jeder Veränderung der kolloiden Bodenpartikelchen eine solche der Gesamtoberfläche und mithin auch der physikalischen Bodeneigenschaften entsprechen.

Die Veränderung der Bodenkolloide hat man in den meisten Fällen als eine Koagulation, eine Gelbildung anzusehen, hervorgerufen durch einen der genannten Faktoren, Frost, Hitze usw.

In erster Linie besteht der günstige Einfluss dieser Koagulation in einer bedeutenden Auflockerung des gesamten Systems, hervorgerufen durch die Oberflächenverkleinerung, die im weiteren die Bildung von Hohlräumen und ein loseres Zusammenlagern der einzelnen Bodenpartikelchen begünstigt.

Eingehende Untersuchungen haben gezeigt, dass feiner Ton aus Salzlösungen in viel poröserem Zustande mit sogen. Krümelstruktur[2]) ausfällt, als aus reinem Wasser. Man hat dabei an die fällende Wirkung der Salze auf die Bodenkolloide zu denken. Diese werden sich während der Koagulation in lockeren Haufwerken zusammenlagern, so ein allmähliches Zusammenballen zu grösseren Komplexen begünstigen und ein „Verschlemmen“ des Bodens, jene vom Landwirt so gefürchtete Erscheinung, verhindern.

Ferner ist nach Mitscherlich[3]) der Widerstand, den ein Boden einem eindringenden Keile entgegensetzt, am grössten, wenn sich die Bodenpartikelchen in sogen. Einzelkornstruktur befinden, d. h. in kompakten Massen aufeinander gelagert sind.

---

[1]) Mitscherlich, Bodenk. 1905, S. 87, 98.
[2]) Mitscherlich, Bodenk. 1905, S. 109.
[3]) Adolf Meyer, II_1, 1905, S. 152.

Es ist klar, dass sich dieser Widerstand auch auf die vordringende Pflanzenwurzel äussern wird und unter Umständen, wenn die Wurzel nicht die Kraft besitzt, um diesen Widerstand zu überwinden, zu einer völligen Verkümmerung der Pflanze führen kann.

Schliesslich wird man zu bedenken haben, dass der Reibungskoeffizient bei nassem Boden mit steigender Feinheit der Einzelkörner zunimmt. Diesen Faktoren wird eine Koagulation der Bodenkolloide entgegenzuwirken imstande sein, indem sie eben das Zusammenlagern in grösseren Haufwerken begünstigt, wodurch die Bildung kompakter undurchlässiger Schichten vermieden wird.

Besonders ist es die Frostwirkung, die jedem praktischen Landwirt in dieser Hinsicht bekannt ist und die er daher zu schätzen gelernt hat. Ihre Einwirkung experimentell nachzuweisen und besonders theoretisch zu begründen, ist allerdings bisher noch nicht gelungen. Doch dürfte es jedenfalls an der angewandten Methodik gelegen haben, dass man es hier zu keinen weiteren Resultaten gebracht hat. Auf diesen Punkt werde ich im weiteren Verlauf der Arbeit noch zurückzukommen haben.

Es sollen nun durch den Versuch die Veränderungen der Bodenoberfläche nachgewiesen werden, wie sie durch Frost, Hitze und die Beigabe einiger Salze zum Boden in die Erscheinung treten.

Um die gestellte Aufgabe zu lösen, wurde einmal der Vegetationsversuch herangezogen, um die Wirkung verschieden beeinflusster Kolloide auf die Pflanze selbst zu prüfen, andererseits wurde versucht, durch Bestimmung der Hygroskopizität sowie der Menge des löslichen Stickstoffes in verschieden behandelten Böden der Wahrheit näher zu kommen.

Wenn ich auch durch rein äusserliche Gründe — ich musste die warme Jahreszeit benutzen — gezwungen war, die Vegetationsversuche an erster Stelle vorzunehmen, möchte ich doch zunächst der im Laboratorium gemachten Beobachtungen gedenken, einmal weil sie mir von grundlegender Bedeutung zu sein scheinen, sowie auch vielfach zur Erklärung gewisser Erscheinungen der Vegetationsperioden herangezogen werden können, andererseits weil gerade beim Pflanzenversuch das Bild durch Faktoren getrübt werden kann, die auszuschalten schlechterdings unmöglich ist.

Ausgehend von der Ansicht, dass die Hygroskopizität der Bodenoberfläche proportional ist, und sie alle Veränderungen der letzteren genau zu registrieren imstande sein müsste, beschloss ich, sie bei verschieden behandelten Böden zu untersuchen, und aus ihr die durch die verschiedene Behandlung hervorgerufene Veränderung des Bodens zu messen.

Die Bestimmung der Hygroskopizität erfolgte nach Rodewald und Mitscherlich,[1]) doch geschah die Anwendung der Methode in gerade umgekehrter Reihenfolge. Während nämlich die von den beiden genannten Forschern vorgeschlagene Methode darin besteht, dass der zu untersuchende Boden zunächst im Vakuum über Phosphorpentoxyd absolut getrocknet und sodann seine Hygroskopizität aus der Wasseraufnahme über 10 %iger Schwefelsäure berechnet wird, erfuhr im vorliegenden Falle das Verfahren eine Modifikation, und zwar aus Gründen, die noch später darzulegen sein werden.

Im grossen und ganzen geschah die Untersuchung in der Weise, dass die Substanz in dünnen Glasschälchen in Vakuumexsikkatoren gebracht wurde, die 100 ccm genau 10 %iger Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht 1.069 enthielten. Mittels der Wasserstrahlluftpumpe wurden die Exsikkatoren evakuiert und in der Dunkelheit (um Temperaturschwankungen zu vermeiden) drei Tage lang stehen gelassen. Von 3 zu 3 Tagen wurde die Schwefelsäure durch neue ersetzt, und zwar erfolgte dieser Vorgang so oft, bis die Substanz ein konstantes Gewicht erreicht hatte, d. h. bis der Dampfspannungsunterschied zwischen Säure und Untersuchungsobjekt ausgeglichen war. Nach Erreichung der Gewichtskonstanz wurden die Schälchen samt Substanz in halbkugelförmige Gefässe gebracht, die mit Phosphorpentoxyd[2]) beschickt und so eingerichtet waren, dass aus ihnen gleichfalls die Luft entfernt werden konnte. Nach dem Evakuieren wurden diese Gefässe im Wasserbade so lange erhitzt, bis das Phosphorpentoxyd keine Feuchtigkeitsaufnahme mehr zeigte, d. h. bis auch das hygroskopisch gebundene Wasser aus dem Körper entfernt war. Das nach dieser Trocknung erzielte Gewicht zeigt uns die absolute Trockensubstanz, während die

[1]) Landw. Versuchs-Stationen 1904, 59, S. 434.

[2]) Scheeffer, Eine Methode zur Bestimmung der äusseren Bodenoberfläche, Diss. Königsberg 1909.

Differenz zwischen dieser und dem nach Erreichung des Dampfspannungsgleichgewichtes gewonnenen Gewichte die Hygroskopizität des Körpers angibt. Die Menge des jeweilig zur Untersuchung gelangten Bodens betrug 30 resp. 20 g.

Eine ähnliche Methode verwandte bereits VAN BEMMELEN [1]) bei seinen Versuchen über Entwässerung von Kolloiden, die zum Teil auch im Ackerboden vorkommen.

Massgebend für die hier vorgenommene Änderung in der Untersuchungsmethode war die theoretische Erwägung, [2]) dass schon das Trocknen eines Bodens an der Luft bedeutende Oberflächenveränderungen hervorzurufen imstande ist, so dass dies bei dem heftigen Trocknen über P_2O_5 in noch viel stärkerem Maſse zu erwarten wäre. Ergebnisse noch unveröffentlichter Untersuchungen von EHRENBERG und PICK aus dem agrikulturchemischen und bakteriologischen Institute der Kgl. Universität zu Breslau haben dieser Annahme recht gegeben und diesem Umstande ist es wohl zuzuschreiben, dass MITSCHERLICH [3]) bei seinen Untersuchungen auf diesem Gebiete nur zu sehr unsicheren Zahlen gekommen ist, die ihm einen Nachweis der Frostwirkung durch Messung der Oberflächenveränderung für ausgeschlossen halten lassen.

MITSCHERLICH [4]) sagt selbst: „Wir dürfen aus den ganzen vorstehenden Versuchsreihen den Schluss ziehen, dass sich die Benetzungswärme und somit die Bodenoberfläche durch den Frost nicht messbar verändert."

Die an sich recht schwer zu fassende Veränderung wurde schon durch das Trocknen völlig verdeckt, so dass alle Endergebnisse innerhalb der einzelnen Fehlergrenzen lagen.

Was nun die einzelnen Untersuchungen anbetrifft, so ist hierüber folgendes zu sagen.

Die gesamte zur Untersuchung gelangende Bodenmenge, in erster Linie Rosenthaler Ackerkrume, von dem Versuchsfelde der hiesigen Universität in Rosenthal, ein schwerer Lehmboden, sowie dessen Untergrund, aus einer beiläufigen Tiefe von 40 cm, wurde zunächst durch Sieben von Steinen und

[1]) Zeitschr. f. anorg. Chemie XIII, 1897, S. 315; XLII, 1904, S. 223.
[2]) Vergl. Mitteil. d. landw. Inst. d. Univ. Breslau, Bd. IV, 1908.
[3]) FÜHLINGS landw. Zeitg. 1902, H. 14.
[4]) FÜHLINGS landw. Zeitg. 1902, H. 15, S. 535.

grossen Klumpen gesäubert, dann mit der Hand sorgfältig zerkleinert und durchgemischt.

Von dieser Menge wurden 3 annähernd gleiche Teile zu den verschiedenen Bestimmungen genommen, ein Teil wurde in Glaskrausen naturfrisch erhalten, ein Teil wurde zum Frieren und der dritte zur Sterilisation bestimmt. Die zum Frieren ausgewählten Proben wurden abermals geteilt und in Gummisäcken dem Frost ausgesetzt. Das Frieren erfolgte in den Kühlkammern der Brauerei Haase, die diese in liebenswürdigster Weise zur Verfügung gestellt hatte und zwar betrug die durchschnittliche Tagestemperatur 4—6 ° C.

Die Frostdauer betrug bei je einem Sacke von beiden Bodenarten 4, bei den beiden anderen 8 Wochen, wobei anfangs alle 2—3, später alle 5 Tage ein Auftauen herbeigeführt wurde, nachdem man den Frost von neuem wirken liess. Zu dieser Massnahme wurde ich hauptsächlich durch ein Zitat Wollnys[1]) bestimmt, der erkennt, dass die Wirkung des Frostes durch einen derartigen Wechsel bedeutend gesteigert werden kann.

I. Frostwirkung.

Was die direkte Wirkung des Frostes selbst anbelangt, so ist zunächst einmal seine Wirkung auf das Wasser ganz allgemein genugsam bekannt. Die Anomalität des Wassers gegenüber der Frostwirkung gründet sich wohl auf die Polymerisation desselben, die zwar noch nicht absolut nachgewiesen werden konnte, sich aber in verschiedenen Eigenschaften mit Recht vermuten lässt.[2])

Frierendes Wasser dehnt sich ausserordentlich stark aus und vermag hierbei einen grossen Druck auf die es umgebenden Wände auszuüben. Es liegt klar auf der Hand, dass sowohl das in den kapillaren wie das in den mizellaren[3]) Hohlräumen

[1]) Wollny, Forsch. Heft 4, Bd. 20, S. 16.

[2]) Vergl. Smith und Holmes, Zeitschr. f. phys. Chem. 43, S. 469, 1903; Abegg, Handb. II_1.

[3]) Unter Mizellen versteht man nach van Bemmelen Molekülkomplexe, die sich beim Zusammenlagern von amorphen Körpern aus Flüssigkeiten bilden und Teile des Dispersionsmittels in sich einzuschliessen vermögen. Andererseits bezeichnet man mit kapillaren Hohlräumen die Hohlräume zwischen den einzelnen festen Bodenpartikelchen, die in den meisten Fällen kapillare Eigenschaften besitzen, d. h. eine Bewegung des Wassers von unten nach oben begünstigen und ermöglichen.

des Bodens befindliche Wasser ebenfalls beim Frost eine starke Ausdehnung erleiden und dadurch auf die umliegenden festen Bodenpartikelchen einen Druck ausüben muss.

Diesen Druck auf die Dauer auszuhalten werden die Bodenteilchen nicht imstande sein, sie werden auseinander getrieben werden, und dadurch der gesamten Bodenstruktur ein viel lockereres „krümeliges" Gefüge verleihen.

Diese Ausdehnung muss naturgemäss mit dem Wassergehalt[1]) zunehmen, dem in weiterer Folge der Umfang und die Stärke der Zertrümmerung proportional sein muss.

Diese allgemeinen Einwirkungen des Frostes auf den Boden erstrecken sich jedoch auf alle Bodenteilchen, ohne Unterschied ihrer sonstigen Eigenschaften.

Wie wird sich aber der Frost auf die im Boden enthaltenen echten und unechten Kolloide sowie die Suspensionen äussern?

Die bisherigen Ergebnisse der Kolloidforschung haben auf diese Frage bis heute folgendes geantwortet.

Bei Emulsoiden wie bei Suspensoiden ruft der Frost eine kräftige Koagulation hervor,[2]) wobei noch besonders zu bemerken ist, dass die Emulsionskolloide dabei meist ihre Fähigkeit, sich wieder zu lösen, d. h. reversibel zu sein, einbüssen.[3]) Diese Erscheinung findet eine Bestätigung bei Nernst,[4]) der bei der Koagulation der kolloiden Kieselsäure Wärmeentwicklung voraussetzt. Eine Verringerung der Temperatur der Umgebung müsste allein schon eine Koagulation hervorrufen. Ein weiterer Grund für die Einwirkung des Frostes dürfte nach Ehrenberg[5]) in der bereits erwähnten fällenden Wirkung von Elektrolyten zu suchen sein. Es ist klar, dass das im Boden enthaltene Wasser in grösserer oder geringerer Menge auch Salze in Lösung enthält. Wird nun durch den Frost die Gesamtmenge der Flüssigkeit verringert, so muss naturgemäss die Konzentration der Salze steigen und schliesslich eine Grenze erreichen, wo eine Ausflockung herbeigeführt, d. h. der „Schwellenwert" der betreffenden Salzlösung überschritten wird.

[1]) Wollny, Forschungen XX, 1898, S. 439.

[2]) Lottermoser, Zeitschr. f. phys. Chemie LX, 1907, S. 452; Barus und Schneider, Zeitschr. f. phys. Chemie VIII, 1891, S. 279.

[3]) Zsigmondi, a. a. O., S. 20.

[4]) Nernst, Theoret. Chemie, 4. Aufl., 1903, S. 431.

[5]) Ehrenberg, Mitt. IV. Bd., Heft 3, 1908.

Da ferner konzentrierte oder gesättigte Salzlösungen die kapillare Tätigkeit[1]) bedeutend verringern, scheint mir auch in dieser Richtung eine Komponente der Frostwirkung zu liegen.

Eine Verminderung der Temperatur erhöht die Viskosität des Wassers. Infolgedessen wird auch ein Herabsinken der im Wasser schwebenden festen Teilchen unter dem Einfluss des Frostes viel langsamer vor sich gehen als in der Wärme, wobei sich auch ein Ausgleich des kapillaren Bodenwassers in der Weise vollziehen wird, dass eine Wasserbewegung nach der kälteren Stelle eintritt.[2])

In den letzten Jahren war es namentlich Mitscherlich, der mehrfach an die Untersuchung und Erforschung der Frostwirkung auf die physikalischen Bodeneigenschaften herangetreten ist. Als Mafsstab benützte auch er die der Bodenoberfläche proportionale Hygroskopizität und die Benetzungswärme.

Denn da der Frost durch das Zertrümmern und Sprengen der einzelnen Bodenpartikelchen zur Vergrösserung der Gesamtoberfläche im Boden beiträgt, müsste einer solchen auch eine Erhöhung der Hygroskopizität entsprechen.

Da aber der Frost namentlich auf die Humuskolloide koagulierend wirkt, so wird sich auch die Gesamtwirkung des Frostes auf die Bodenoberfläche als Verkleinerung derselben darstellen, der eine Verminderung der Benetzungswärme wie der Hygroskopizität gegenüber dem naturfrischen Boden folgt.

Freilich wäre diese Verringerung der Oberflächen durch Frost bei weitem stärker, wenn sie nicht durch die genannte Oberflächenvergrösserung zum Teil wieder aufgehoben würde. Die Werte, die sich bei Untersuchungen über die Veränderung der Hygroskopizität ergeben, sind daher relativ sehr gering, und nur durch Anwendung einer sehr subtilen Untersuchungsmethode zu fassen.

Ich glaube, an der Hand der von mir angestellten Versuche diese Behauptung einwandsfrei beweisen zu können, indem sich durchweg bei Bestimmung der prozentischen Wasseraufnahme bei gefrorenen Bodenproben eine deutliche Abnahme derselben zeigt. Dass diese Abnahme auf Beeinflussung der Bodenkolloide

---

[1]) Leymann, Briggs und Lapham, Un. St. Dep. of agric. 1902, 29.

[2]) Leymann, Briggs und Lapham, Un. St. Dep. of agric. 1907, Bull. 10, S. 1—24.

zurückzuführen ist, glaube ich dadurch beweisen zu können, dass diese Unterschiede beim Rosenthaler Untergrund, der ja naturgemäss eine ganz andere geognostische Zusammensetzung aufweist wie die Ackerkrume, bedeutend schwächer sind als bei dieser. Mitscherlich[1]) gibt selbst zu, dass fast alle Bodenarten schon durch das Trocknen starke Veränderungen erleiden, die fast sämtlich eine Verkleinerung der Bodenoberfläche zur Folge haben, so dass die Frostwirkung nicht mehr festzustellen war. Dabei ist noch zu bemerken, dass Mitscherlich seine Proben öfter benetzte und hier eine deutliche Zunahme dieser Veränderung verzeichnen konnte.

Er erhielt prozentuale Veränderungen bei:

Anzahl der Benetzung	Sandiger Lehmboden		Humoser Lehmboden
	I.	II.	
2	— 2	—	— 3
3	— 5	— 5	— 5
4	— 7	— 6	— 10
5	— 9	—	— 15

Dass angesichts dieser bedeutenden Veränderungen die durch künstliche Mittel herbeigeführte, an sich recht geringe Frostwirkung nicht mehr deutlich zu konstatieren war, ist erklärlich.

Anders bei Verwendung der von Ehrenberg und Pick gefundenen Modifikation der Rodewald-Mitscherlichschen Methode. Hier kommt der Boden unverändert zur Verwendung, der Ausgleich der Dampfspannung über 10 %iger Schwefelsäure hat seine physikalischen Eigenschaften nicht erheblich verändern können, so dass die Frostwirkung deutlich zutage tritt.[2])

Tabelle I.

1. Versuchsreihe.

	Ackerkrume				Untergrund			
	naturfrisch		gefroren		naturfrisch		gefroren	
Wasserverlust in Gramm H_2O	2.332	2.360	2.281	2.283	1.353	1.377	1.358	1.343
In Prozent. der Tr.-S.	9.02	9.12	8.70	8.67	4.97	5.04	4.96	4.90
Durchschnitt:	9.07 %		8 68 %		5.01 %		4.93 %	

[1]) Fühlings landw. Zeitung 1902, 51, S. 500.

[2]) Die folgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse der Untersuchung gefrorener Böden, denen zum Vergleiche das naturfrische Medium an die

Die Frostwirkung zeigt sich hier als eine die Fehlergrenze übersteigende Abnahme der Hygroskopizität und somit auch der Benetzungswärme. Da aber beide Faktoren der Bodenoberfläche proportional sind, muss auch diese eine Verkleinerung durch den Frost erfahren haben.

Der Frost hat die Kolloide des Bodens teilweise zur Koagulation gebracht, so deren Oberfläche verkleinert und in weiterer Folge auch die Gesamtoberfläche des Systems verringert.

Hierbei lässt sich feststellen, dass auch beim Untergrund die Frostwirkung in der angegebenen Richtung liegt. Die geringere Ausdehnung der Wirkung gegenüber dem Ackerboden glaube ich am besten dahin deuten zu können, dass schon die rein äussere Zusammensetzung des Untergrundes eine andere ist, indem dieser, vorwiegend aus Schwemmland bestehend, auch einen viel höheren Gehalt an Sand und einen geringeren an Bodenkolloiden besitzt, wie die Ackerkrume.

Da auch von Rümker[1]) die Zusammensetzung des Bodens des Rosenthaler Versuchsfeldes eingehend untersucht hat, möchte ich hier die von ihm für den Schlag, dem die von mir behandelten Bodenproben entnommen wurden, gefundenen Resultate wiedergeben. Es ergaben sich von oben nach unten Schichtungen von 26 cm tonigem Lehm und 64 cm Sand, von folgender Beschaffenheit:

	Feiner Sand	Sehr feiner Sand	Abschlemmbare Bestandteile
	%	%	%
Oberschicht	3.74	34.75	48.38
Mittelschicht	—	—	—
Unterschicht	53.00	40.15	6.50

Schon aus der Tatsache, dass in dem Verhalten der beiden naturfrischen Bodenarten ein erheblicher Unterschied zu verzeichnen ist, lässt sich ohne weiteres erkennen, dass die Oberfläche beim Untergrund von vornherein kleiner ist.

Die folgende Tabelle soll die Ergebnisse der zweiten Versuchsperiode hinsichtlich der Frostwirkung veranschaulichen, die im grösseren Umfange betrieben wurde als die erste, indem hier

---

Seite gestellt wurde. — Die Resultate werden ausgedrückt durch die Wasserabnahme in Gramm Wasser, sowie berechnet auf 100 g der absoluten Trockensubstanz.

[1]) v. Rümker, Mitt. d. landw. Inst. d. Univ. Breslau I, 1901, Heft 3.

auch die Unterschiede zwischen einer kürzeren und längeren Frostdauer untersucht werden sollten.

Tabelle II.

2. Versuchsreihe.

	Ackerkrume		
	naturfrisch	gefroren (4 W.)	gefroren (8 W.)
Wasserverlust in Gramm H_2O . .	2.291 2.282	2.220 2.333	2.219
In Prozenten der Trockensubstanz .	8.73 8.69	8.52 2.56	8.45
Durchschnitt:	8.71 %	8.54 %	—

	Untergrund		
	naturfrisch	gefroren (4 W.)	gefroren (8 W.)
Wasserverl. in Gramm H_2O	1.381 1.381	1.388 1.399	1.280 1.326 1.296
In Prozenten der Tr.-S. .	4.97 4.98	4.89 4.94	4.16 4.78 4.68
Durchschnitt:	4.97 %	4.91 %	4.68 %

Betrachten wir die Resultate bei den Untersuchungen der Rosenthaler Ackerkrume der ersten und zweiten Periode, so ist ersichtlich, dass im ganzen eine relativ starke Abnahme der Hygroskopizität zu verzeichnen ist. Sie erklärt sich dadurch, dass zwischen dem Ansetzen der ersten Versuchsreihe und dem der zweiten ein Zeitraum von annähernd 5 Wochen liegt, in dem bei den Proben der zweiten Versuchsreihe eine, wenn auch ganz minimale Austrocknung Platz gegriffen hat. Immerhin liegen die Ergebnisse der Untersuchung der Frostwirkung alle in der angegebenen Richtung, so dass ihre Richtigkeit nicht in Frage gestellt ist.

Leider bin ich nur in der Lage, von den drei zur Darstellung der längeren Frostdauer verwandten Proben der Ackerkrume ein einziges Resultat hier anzuführen, da die beiden anderen Bestimmungen infolge Verstäubens während der Untersuchung unbrauchbar geworden waren und ausgeschaltet werden mussten.

Ähnlich wie bei der ersten Versuchsreihe gestalteten sich auch bei der zweiten die Verhältnisse im Untergrund. Es lässt

sich deutlich erkennen, dass die Wirkung des Frostes auch bei der zweiten Versuchsperiode dieselbe geblieben ist. Der Frost hat eine deutliche Verringerung der Gesamtoberfläche des Bodens herbeigeführt und die Bodenkolloide zur Koagulation gebracht.

Merkwürdigerweise hat beim Untergrund die verlängerte Frostdauer unter häufigerem Wechsel zwischen Frost und Auftauen eine noch bedeutendere Verringerung des prozentischen Wasseraufnahmevermögens zur Folge gehabt, als bei der kolloidreicheren Ackerkrume.

Schliesslich sei auch auf die Versuche hingewiesen, die ich zur Darstellung der Wirkung verschiedener Kältegrade angestellt habe.

Es gelangte diesmal ein milder Lehmboden zur Untersuchung, deren Resultate sich folgendermassen gestalteten.

Der Boden wurde nun durch je 24 Stunden einmal einer Temperatur von $-8^1/_2{}^0$ C., erzielt durch Eis + Chlorcalcium + Äther, ausgesetzt, das andere Mal einer solchen von -69^0 C., die durch feste Kohlensäure und Äther erreicht wurde. Hierbei ergaben sich folgende Werte:

Tabelle III.

3. Versuchsreihe.

	Milder Lehm		
	naturfrisch	gefroren bis $-8^1/_2{}^0$ C.	gefroren bis -69^0 C.
Wasserverlust in Gramm H_2O . .	1.344 1.346	1.374 1.374	1.311 1.321
In Prozenten der Trockensubstanz	5.14 5.14	5.22 5.22	5.04 5.07
Durchschnitt:	5.14 %	5.22 %	5.05 %

Die Versuche haben gezeigt, dass selbst die Anwendung so intensiver Kältegrade wie die durch feste Kohlensäure erreichten nur äusserst minimale Unterschiede gegenüber dem naturfrischen Boden hervorzurufen vermag, während geringere Temperaturen bei kurzer Anwendungsdauer überhaupt ohne Einfluss geblieben sind. Die Erscheinung, dass der bis $-8^1/_2{}^0$ gefrorene Boden sogar eine höhere Hygroskopizität zeigt wie der ungefrorene, ist wohl auf Faktoren zurückzuführen, deren Be-

urteilung sich vorläufig unserer Kenntnis entzieht; vielleicht spielen hier Fehler bei der Probenahme eine gewisse Rolle. Trotz des abweichenden Resultates hielt ich es aber trotzdem für wichtig, auch diesen Versuch hier anzuführen. —

Die Frage, warum denn der Frost bei den früher angestellten Versuchen immerhin ganz beträchtliche Veränderungen der hygroskopischen Eigenschaften des Bodens hervorzurufen imstande war, während hier selbst die Anwendung von fester Kohlensäure einen kaum merklichen Ausschlag zu geben vermochte, ist wohl am besten dahin zu beantworten, dass bei Beurteilung einer Frostwirkung lediglich die Dauer und der Wechsel zwischen Frieren und Auftauen von entscheidender Bedeutung sind. Während nämlich bei den ersten Versuchen die Frostdauer 4 und 8 Wochen betrugen, und während dieser Perioden ein häufiges Auftauen der Bodenproben herbeigeführt wurde, waren sie im letzteren Falle nur je 24 Stunden der Einwirkung des Frostes ausgesetzt und gelangten gleich zur Untersuchung.

Wir haben also die kräftige koagulierende Wirkung des Frostes weniger in der Anwendung extremer Kältegrade zu suchen, als vielmehr in einer langen Dauer, während der dem Frost Gelegenheit gegeben wird, auch auf das ungefrorene Medium wieder von neuem einzuwirken.

Doch ist die Koagulation augenscheinlich nach einer 4wöchentlichen Frostdauer noch unvollkommen, da die längere Dauer noch eine Steigerung derselben hervorrufen konnte. Es scheint mir gerade in dieser Tatsache eine Hauptkomponente für die günstige Wirkung des Frostes auf unsere Ackerböden zu liegen, indem einmal während eines Winters der Boden lange Zeit der Einwirkung des Frostes zugängig ist, andererseits der Wechsel zwischen Frieren und Auftauen ein relativ häufiger sein wird. Dabei erscheint es sehr wesentlich, dass wenigstens die Kolloide durch Frost nur schwer oder gar nicht wieder zu ändernde Zusammenballungen erleiden. Da ferner das Auftreten von Hydroxyl-Ionen im Boden wegen Mangel einer lebhaften Vegetation für unseren Ackerboden im Winter unwahrscheinlich ist, so ist für die Kolloide als wieder lösend nur noch das Auftreten sehr erheblicher Wassermengen zu befürchten, die noch nicht entwässerten Gels allerdings teilweise wieder zu lösen vermögen, wenigstens bei einigen der für die Ackererde besonders

in Betracht kommenden Fällen. Dies entspricht ja nur den Tatsachen, denn jeder Landwirt weiss, dass grosse Nässe im Winter oder beginnenden Frühjahr nur wenig von der günstigen Frostwirkung übrig lässt. Der trockene Frost aber wird, zumal wegen der neben ihm einhergehenden Wasserverdunstung und Austrocknung der gebildeten Gels die vorzüglichste physikalische Wirkung auf dem Boden hervorrufen.

Ob allerdings diese Wirkung sich auch im günstigen Sinne auf die im Boden aufgespeicherten Pflanzennährsalze selbst äussern wird, glaube ich dahingestellt sein lassen zu müssen, und gedenke gerade auf diesen Punkt noch im weiteren Verlaufe der Arbeit näher einzugehen.

Für die Krümelstruktur des Bodens, für einen, nach dem Frost erfolgten Anbau sowie für den späteren Pflanzenwuchs ist aber jedenfalls die Frostwirkung denkbar günstig.

II. Wirkung der Sterilisation.[1])

Was die Wirkung einer Sterilisation anbelangt, so seien zunächst ganz allgemein folgende Punkte berührt:

Die zu den folgenden Untersuchungen bestimmten Bodenproben wurden in Glaskrausen 2 mal je 2 Stunden bei einem durchschnittlichen Dampfdruck von 1.5—2.5 Atm. erhitzt und erkalten gelassen, worauf die Bestimmungen ausgeführt wurden.

Nach den Erfahrungen der Kolloidchemie wirkt Hitze koagulierend; fast alle Emulsoide und zum Teil auch die Suspensoide lassen sich durch Zuführung von Wärme in den Gelzustand überführen.[2]) Namentlich das Eiweiss zeigt die Eigenschaft, in der Hitze zu gerinnen, wobei die eingetretene Zustandsänderung als völlig irreversibel anzusehen ist. Allein auch den anderen im Boden vorkommenden Kolloiden kommt diese Eigenschaft zu, so dass die Hitze auf die Gesamtoberfläche unseres Bodens ebenfalls verkleinernd wirken muss. Die Faktoren, welche diese Verringerung der Oberflächen fördern, sind mannigfaltigster Art. Hand in Hand mit der Erwärmung des Bodens geht eine Aus-

[1]) Wenn im folgenden von Sterilisation die Rede sein wird, ist dabei nicht an die physiologische Wirkung derselben zu denken, sondern mit ihrem Namen soll lediglich die Wirkung der Hitze auf die physiologischen Bodeneigenschaften bezeichnet werden.

[2]) Barus und Schneider, Annalen der Physik 1893, 48, S. 335.

trocknung, so dass wir hier auf eine ähnliche Erscheinung stossen wie beim Frost: die in gelöstem Zustande befindlichen Salze werden immer mehr konzentriert, bis ihr Schwellwert überschritten wird und sie auf die Kolloide fällend einwirken können.

Ein weiteres Moment ist die Verminderung der Viskosität der Flüssigkeiten durch Wärmezufuhr,[1]) wodurch den im Wasser schwebenden Teilchen das Absetzen bedeutend erleichtert wird. Ferner werden durch eine allmähliche Konzentration des Dispersionsmittels die Einzelpartikelchen einander so nahe gebracht, dass schliesslich ihre Anziehungskräfte etwa entgegenstehende Hindernisse überwinden und die Koagulation erfolgt. Schon Graham[2]) hat diese Eigenschaft der Kolloide erkannt und als Beispiel sei hier die folgende von ihm gefundene Zahlenreihe angeführt:[3])

Flüssige Kieselsäure mit 10—12 % koll. SiO_2	Gerinnt bei Stubenwärme in wenigen Stunden,
5 „ „ „	5—6 Tagen,
2 „ „ „	2—3 Monaten,
1 „ „ „	2 Jahren noch nicht.

Hieraus erhellt, dass auch Beziehungen zwischen Konzentration und Gelbildung durch Wärme bestehen, indem bei steigender Konzentration auch die Neigung zur Gelbildung zunimmt, welche Verhältnisse man wohl auch bei den mechanischen Suspensionen voraussetzen darf. Auch diese werden zum Teil infolge der durch die Hitze bedingten Konzentrationserhöhung bald zur Fällung gebracht werden. Es liegt in der Tat kein Grund vor, um an der bei gewissen Konzentrationen eingetretenen Wirkung der Kohäsionskräfte der Einzelteilchen zu zweifeln.[4]) Allerdings ist zu bedenken, dass viele im Boden vorhandenen Kolloide, namentlich aber die irreversiblen, die Kieselsäure, Eisenhydroxyd und Aluminiumhydroxyd auch nach der Koagulation durch Wärmezufuhr und Austrocknung Veränderungen nachhaltender Natur erleiden. Nach van Bemmelen hat sich die Gelsubstanz bei der allmählichen Entwässerung so modifiziert,

[1]) Vergl. Ehrenberg, Mitteilungen d. landw. Inst. d. Univ. Breslau 1908, Bd. 4., Heft 3.

[2]) Ann. d. Physik 1864, Bd. 123, S. 529.

[3]) S. auch Ehrenberg, Mitt. d. landw. Inst. d. Univ. Breslau 1908, Bd. 4, Heft 3.

[4]) Zsigmondy, a. a. O. S. 144.

dass sie das verlorene Wasser nur für einen kleinen Teil wieder absorbieren kann. Daraus folgt, dass die Wärme eine ausserordentlich kräftige Wirkung auf den Boden wird äussern können, wozu wohl auch noch eine rein chemisch aufschliessende Tätigkeit hinzutreten mag, die jedoch an anderer Stelle zu besprechen sein wird. Dass die Wirkung der Sterilisation auf die Bodenstruktur nicht immer günstig sein muss, hebt namentlich Ehrenberg in seiner bereits öfter zitierten Arbeit „Theoretische Betrachtungen über die Beeinflussung der sogen. physikalischen Bodeneigenschaften" hervor, indem er betont, dass ein Vorhandensein von Schutzkolloiden die an sich günstige Wirkung der Sterilisation auf die physikalischen Bodeneigenschaften in eine ungünstige zu verwandeln imstande sei. Letztere bedingen ein Zustandekommen einer relativ sehr hohen Konzentration der dispersen Phase, ehe sie zur Fällung gelangt. Die Teilchen werden sich aber dann schon so sehr genähert haben, dass sie nicht mehr in lockeren Haufwerken auszufallen vermögen, sondern nach dem Absetzen mehr oder weniger kompakte Komplexe bilden werden. Diese Komplexe werden aber die Porosität des Bodens bedeutend herabsetzen, werden den Zutritt von Wasser und Luft erschweren und schliesslich der Bearbeitung, sowie der vordringenden Pflanzenwurzel ein grosses Hindernis in den Weg stellen. Dazu kommt noch, dass nach Zsigmondy[1]) den Emulsoiden an sich eine stark „verklebende Wirkung" zuzuschreiben ist.

Im allgemeinen werden jedoch die Verhältnisse so liegen, dass mit einem Erhitzen des Bodens eine kräftige Koagulation verbunden ist, die eine Verkleinerung der Bodenoberfläche und somit auch der Hygroskopizität zur Folge hat.

In dem vorliegenden Material konnten diese theoretischen Betrachtungen in angegebener Richtung bestätigt werden und zwar ergaben sich im einzelnen folgende Resultate:

(Siehe die Tabelle IV auf S. 20.)

Diesen Zahlen stehen gegenüber die prozentischen Wasserabnahmen von

naturfrischer Ackerkrume .	9.07 %
gefrorener Ackerkrume . .	8.70 „ .

[1]) Zsigmondy, a. a. O. S. 12.

Tabelle IV.

Sterilisationswirkung.

1. Versuchsreihe.

	Ackerkrume		Untergrund	
Wasserverlust in Gramm H_2O	2.125	2.108	1.197	1.121
In Prozenten der Trockensubstanz . .	8.30	8.18	4.26	4.25
Durchschnitt:	8.24 %		4.26 %	

Man sieht also deutlich, dass die Sterilisation eine noch weitgehendere und vollständigere Verkleinerung der Bodenoberfläche hervorzurufen imstande ist, als sie der Frost äussert.

Auch beim Untergrund ergeben sich ähnliche Verhältnisse

Die Zahlenergebnisse beim naturfrischen bezw. gefrorenen Untergrund stellen sich dar beim

naturfrischen auf . . 5.01 %,
gefrorenen auf . . 4.93 „ .

Jedenfalls ist auch hier, bei dem kolloidärmeren Boden, ersichtlich, dass die Sterilisation eine kräftige Oberflächenverkleinerung, also Gelbildung, hervorgerufen hat.

Die Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe stellen sich nun folgendermassen dar: Sie sind einfache Wiederholungen der in der ersten Versuchsperiode gemachten Untersuchungen und sollen in der Hauptsache zur Kontrolle dienen, wozu allerdings zu bemerken ist, dass begreiflicherweise in dem Zeitraum zwischen der ersten und zweiten Serie eine, wenn auch nur sehr geringe Austrocknung der Böden platzgegriffen hat, so dass ein Vergleich der ersten und der zweiten Resultate nur bedingt möglich sein dürfte.

Tabelle V.

Sterilisationswirkung.

2. Versuchsreihe.

	Ackerkrume		Untergrund	
Wasserverlust in Gramm H_2O	2.139	2.117	1.464	1.259
In Prozenten der Trockensubstanz . .	8.32	8.22	5.22?	4.44
Durchschnitt:	8.27 %		4.44 %	

Die Wasserabnahmen ergaben bei der zweiten Versuchsreihe

beim naturfrischen Ackerboden . . . . 8.71 %,
„ gefrorenen Ackerboden (4 Wochen) 8.54 „
„ „ „ (8 „) 8.45 „ .

Die Unstimmigkeit zwischen den Resultaten der Parallelversuche beim sterilisierten Untergrund ist darin zu suchen, dass während des Trocknens über P_2O_5 bei Probe I ein, wenn auch nicht bedeutender Substanzverlust eingetreten ist, so dass sich hier eine höhere Abnahme nach dem Trocknen zeigt als bei Probe II. Resultat 1 kann daher nicht als genügend genau angesehen werden und ist bei Berechnung des Durchschnittswertes auch nicht berücksichtigt worden.

Wie bei den ersten Versuchen hat auch hier die Sterilisation die kräftigste Wirkung hervorzurufen vermocht und zwar stellen sich die anderen beim Untergrund gefundenen Werte folgendermassen dar:

Naturfrischer Untergrund . . . . . 4.97 %
Gefrorener Untergrund (4 Wochen) . . 4.91 „
„ „ (8 „) . . 4.68 „ .

Was die Einwirkung von Salzen auf die Kolloide des Bodens anbelangt, so sei hierzu bemerkt, dass sich diese Untersuchungen besonders schwierig gestalteten, da die Salze in Lösung dem Boden zugesetzt werden mussten, und sich daher der Dampfspannungsausgleich nur sehr langsam vollzog.

Der Versuch, die sehr zeitraubende Arbeit dadurch abzukürzen, dass wenigstens in den ersten Tagen eine höher konzentrierte Schwefelsäure zur Anwendung kam, erwies sich als undurchführbar, da die höhere Säurekonzentration sofort weitgehende Veränderungen der Untersuchungssubstanz herbeiführte, die zu ganz falschen Resultaten führen mussten.

Immerhin ist es gelungen, die Einwirkung zweier Salze zu untersuchen, doch scheint die Rodewald-Mitscherlichsche Methode gerade für Untersuchungen auf diesem Gebiete noch einiger Verbesserungen zu bedürfen.

Zunächst war es Chlorcalcium, das zur Untersuchung gelangte, und zwar kamen auf 1000 ccm Wasser 11.103 g $CaCl_2$, was einer $^1/_{10}$normalen Lösung entsprach.

Der Boden, der hier zur Anwendung gelangte, war ein milder Lehmboden, dem 20 ccm der genannten Lösung mit der Pipette zugesetzt wurden.

Die Untersuchung geschah nun in der Weise, dass zunächst die Hygroskopizität des Bodens und des Chlorcalciums allein und dann diejenige des mit der Lösung benetzten Bodens bestimmt wurde. Die Differenz zwischen letzterer und der Menge des hygroskopisch gebundenen $CaCl_2$-Wassers musste dann die durch das Salz hervorgerufene Veränderung des Bodens zeigen.

Bei der Chlorcalcium-Lösung war der Ausgleich der Dampfspannung nach 55 Tagen beendigt, der Boden des Schälchens war mit einer dünnen, gallertartigen Haut bedeckt, die nach dem Trocknen doch eine Abnahme von 2.0905 g zeigte, was einer Hygroskopizität von 965.08 % entsprechen würde. Allerdings darf man sich nicht verhehlen, dass die Möglichkeit einer Veränderung des Chlorcalciums durch Umsetzung im Boden, Adsorption u. dergl. nicht absolut ausgeschlossen erscheint, in welchem Falle die Werte für Abzug usw. nicht der Wirklichkeit entsprechen würden. Da es uns aber mit den heute zu Gebote stehenden Hilfsmitteln unmöglich ist, derartige Veränderungen einwandfrei festzustellen, muss ich mich darauf beschränken, die von mir gefundenen Zahlen unter Vorbehalt wiederzugeben, und die Prüfung ihrer Richtigkeit der Zukunft überlassen.

Tabelle VI.

Einfluss von Chlorcalcium.

	Milder Lehm naturfrisch		Milder Lehm mit $^1/_{10}$ n. Lösung	
Wasserverlust in Gramm H_2O	1.344	1.346	2.744	2.737
In Prozenten der Trockensubstanz . .	5.14	5.14	10.3	10.2
Durchschnitt:	5.14 %		10.2 %	

In diesen Werten ist jedoch auch noch das hygroskopisch gebundene Wasser des Chlorcalciums enthalten; ziehen wir dieses von den hier gefundenen Wasserverlusten ab, so erhalten wir für:

	I.	II.
	2.744	2.737
	— 2.090	— 2.090
	0.653	0.647
In Prozenten der Trockensubstanz:	2.47	2.43

Im Durchschnitt: 2.45 %.

Wir sehen also, dass die Beigabe eines Salzes eine ganz bedeutende Verminderung der Hygroskopizität zur Folge hat, eine Erscheinung, die mit der Theorie der Kolloidchemie völlig übereinstimmt.

Ein zweiter Versuch wurde angestellt mit Aluminiumsulfat, indem 20 g desselben Lehmbodens mit je 4 ccm einer $^1/_5$ normalen Aluminiumsulfatlösung beschickt wurden, deren hygroskopisch gebundene Wassermenge mit 0.256 g H_2O in 20 ccm ermittelt worden war.

Die Hygroskopizität des Bodens erwies sich hier als etwas höher als bei dem Versuch mit Chlorcalcium; sie betrug 5.28 % im Durchschnitt. Die Untersuchung des Bodens mit Lösung zeigt uns die folgende Tabelle:

Tabelle VII.

Milder Lehm mit $Al_2(SO_4)_3$.

	I.	II.
Wasserverlust in Gramm	1.113	1.152
In Prozenten der Trockensubstanz.	6.28	6.49

Ziehen wir nun den für das $Al_2(SO_4)_3$ gefundenen Wasserwert ab, so erhalten wir für

I. . . . = 4.84 %,
II. . . . = 5.05 „
Im Durchschnitt: 4.94 %.

Wenn auch nicht so klar, wie beim Chlorcalcium, zeigt auch dieser Versuch einen deutlichen Ausschlag in der erwarteten Richtung. Die weniger gute Übereinstimmung liegt vielleicht zum Teil an der angewandten geringeren Boden- und Lösungsmenge, doch glaube ich trotzdem auch in diesem Versuch einen Beweis für die von der Kolloidchemie aufgestellte Norm erblicken zu dürfen. Die Salzwirkung wird man sich im allgemeinen folgendermassen zu erklären haben:

Ihr Einfluss beruht auf dem Vorgange der elektrolytischen Dissoziation, sowie auf der Tatsache, dass sich durch Wasser fallende Teilchen elektrisch negativ laden.

Nimmt man nun die in einer Flüssigkeit niedersinkenden Teile als völlig unlöslich an, was nach den heutigen Erfahrungen nur für die wenigsten Stoffe zutrifft, so laden sich diese Teilchen durch ihren Fall gleichnamig elektrisch. Genügt diese Ladung,

um der Schwerkraft sowie den Anziehungskräften der Einzelteilchen entgegenzuwirken, so entsteht, je nach der Grösse der letzteren, ein Kolloid oder eine Suspension. Ist andererseits nur ein Bruchteil eines Partikelchens löslich, d. h. etwa in gleicher Weise wie z. B. das Kochsalz, also wirklich krystalloidlöslich, und stellt dieser Bruchteil einen Elektrolyten dar, so wird er sich bei seiner Lösung in seine Ionen spalten, die zum Teil positive, zum Teil negative Ladungen führen werden.

Die Spannungsdifferenz der beiden Medien muss durch diesen sogen. „Teilungskoeffizienten“ der beiden Ionen beeinflusst werden, indem z. B. die Phase, in der das positiv geladene Kation löslicher ist als das negative Anion, infolge dieses Überschusses an Kation auch eine positive Ladung erhalten wird.

Befindet sich schliesslich in der Flüssigkeit eine geringe Menge eines beliebigen Elektrolyten, so wird er die gleiche Form äussern und einen Spannungsunterschied zwischen Dispersionsmittel und disperser Phase hervorrufen. Es wird also auf einem der geschilderten Wege gleich eine elektrische Potentialdifferenz zwischen Flüssigkeit und Teilchen entstehen, welche zur Überwindung der Schwerkraft und der Erhaltung des Schwebens der Teilchen, also zur Bildung des Kolloids beiträgt. Auf ähnliche Weise wird sich nun auch die fällende Wirkung der Elektrolyte erklären lassen. Diese Wirkung setzt sich aus den Einzelwirkungen der den Elektrolyten bildenden Ionen zusammen. Den Einfluss der Ionen bei der Koagulation hat man sich so zu denken, dass jedes Ion auf die im Sol schwebenden Teilchen einzuwirken suchen wird. Ionen mit entgegengesetzter Ladung werden die Teilchen durch die Anziehung ungleichnamiger Elektrizität um sich herum an sich reissen, so gewissermassen „Kondensationskerne“ bilden, und das Ausfallen so entstandener Haufwerke veranlassen. Dagegen werden den Teilchen gleichgeladene Ionen deren Annäherung verhindern.

Den Beweis, dass es sich hier tatsächlich um eine Ionenreaktion handelt, erbrachte schon vor 30 Jahren Durham, indem er nachwies, dass Ton in konzentrierter Schwefelsäure fast ebensolange suspendiert blieb, als in reinem Wasser; mischte man jedoch beide Medien, so wurde die Ausfällung bedeutend beschleunigt. Da nun die Ionen eine relativ sehr starke, die Teilchen aber eine sehr schwache Ladung führen, so muss schon

ein geringer Elektrolytzusatz eine wesentliche Wirkung äussern können.

Die tatsächlichen Verhältnisse geben ja auch der theoretischen Annahme recht, deren Beweis ich auch in den von mir erzielten Resultaten erblicken zu dürfen glaube. Jedenfalls wäre es interessant, die Versuche in dieser Richtung fortzusetzen, doch muss ich mich vorläufig begnügen, an dieser Stelle nur zwei Resultate zu veröffentlichen.

Fassen wir die Ergebnisse der Hygroskopizitätsbestimmungen noch einmal in Kürze zusammen, so ergibt sich die Tatsache, dass Frost, die Hitze und die Beigabe von Elektrolyten eine Koagulation der Bodenkolloide veranlassen, wobei noch zu bemerken ist, dass eine 8wöchentliche Frostdauer eine stärkere Wirkung hervorzurufen vermag als eine 4wöchentliche, namentlich wenn ein öfteres Auftauen während der Frostperiode eingeleitet wird.

Das Fehlen einiger Bestimmungen der zweiten Versuchsreihe ist damit zu erklären, dass bei Anwendung der Rodewald-Mitscherlichschen Methode Zufälligkeiten, denen man nicht gewachsen ist, nie ausgeschlossen sind. Besonders beim Einlassen der Luft in die evakuierten Exsikkatoren zum Zwecke der Auswechselung der Schwefelsäure ist ein Verstäuben der Substanz oftmals nicht zu verhindern. Soviel über die Veränderungen rein physikalischer Natur, die die Bodenkolloide oder der Einwirkung der genannten Faktoren erleiden.

Zum Schluss seien noch einige Versuche angeführt, die den Einfluss verschieden konzentrierter Schwefelsäure auf die Form des Dampfspannungsausgleichs veranschaulichen sollen.

Nach Rodewald und Mitscherlich[1]) ist die Wassermenge, die ein über 10 %iger Schwefelsäure angesetzter Boden aus dieser in Dampfform aufnimmt, gleich der Hygroskopizität. Kehrt man diesen Satz auf die Ehrenberg-Pickssche Modifikation um, so müsste die Wassermenge, die nach dem Ausgleich der Dampfspannung noch im Boden zurückbleibt, gleich der Hygroskopizität sein.

Im Verlaufe der Versuche wurde beobachtet, dass die Anwendung einer höher konzentrierten Schwefelsäure zwar den

[1]) Landw. Versuchs-Stationen 1903.

Ausgleich bedeutend beschleunigte, dass dabei aber die Hygroskopizität der Böden Veränderungen erlitt, die nur auf die Rechnung eben dieser höher konzentrierten Säure gesetzt werden konnte.

Daher lag wohl die Frage nahe, ob nicht auch schon die Mitscherlichsche 10 %ige Säure einen derartigen Einfluss auszuüben imstande sei.

Zu diesem Zwecke entschloss ich mich, die Unterschiede festzustellen, die sich zwischen dem prozentisch-hygroskopischen Wassergehalt über verschieden konzentrierten Säuren angesetzter Böden ergeben würden, ich verwandte hierzu eine 10 %ige, eine $7^1/_2$- und eine 5 %ige Schwefelsäure. Der zur Anwendung gelangte Boden war Rosenthaler Ackerkrume in naturfrischem und durch vier Wochen gefrorenem Zustande.

Tabelle VIII.

Rosenthaler Ackerkrume, naturfrisch.

	Wasserverlust beim Trocknen g	In Prozenten der Trockensubstanz %	Im Durchschnitt %
10 %ige Säure (spez. Gewicht 1.069)	2.170 2.162	8.29 8.20	8.24
$7^1/_2$ %ige Säure (spez. Gewicht 1.059)	2.225 2.251	8.40 8.51	8.45
5 %ige Säure (spez. Gewicht 1.033)	2.517 2.488	9.58 9.38	9.48

Tabelle IX.

Rosenthaler Ackerkrume gefroren (4 Wochen).

10 %ige Säure	2.026 2.011	7.18 7.13	7.15
$7^1/_2$ %ige Säure	2.054 2.079	7.26 7.35	7.30
5 %ige Säure	2.282 2.255	8.08 8.33	8.20

Auf den ersten Blick sollte man meinen, dass dieses bedeutende Ansteigen der Hygroskopizität mit abnehmender Säurekonzentration auf eine weitgehende Veränderung des Bodens

durch die höher konzentrierten Säuren zurückzuführen sei. Diese Erscheinung findet jedoch in der Freundlichschen[1]) Theorie der Absorption von Dämpfen eine einfache Erklärung.

Gleichzeitig habe ich im hiesigen agrikultur-chemischen und bakteriologischen Institute gemeinsam mit Herrn Dr. Pick Versuche mit verschiedenen noch höher konzentrierten Säuren gemacht, wobei an dieser Stelle jedoch nur das von mir gewonnene Zahlenmaterial Erwähnung finden soll.

Die Säurekonzentrationen, deren wechselnder Einfluss bestimmt werden sollte, waren folgende:

10	%	ige	Säure	spez. Gew.	1.069 (Normalsäure).
24.26	„	„	„	„	1.176
37.69	„	„	„	„	1.287
52.13	„	„	„	„	1.419
64.47	„	„	„	„	1.552

Die diesen Konzentrationen entsprechenden Dampfdrucke hat bereits Regnault[2]) bestimmt.

Als Untersuchungsobjekt diente diesmal Striegauer Ton, dessen Untersuchung jedoch von der trockenen Seite begonnen und bei dem die Wasseraufnahme über den verschiedenen Säuren gemessen wurde.

Die Ergebnisse waren folgende:

Konzentration %	Wasseraufnahme %
10	19.69
24.26	12.16
37.69	6.93
52.13	4.41
64.47	1.81

Auch hier zeigt sich dasselbe Bild des proportionalen Zunehmens der Wasseraufnahme mit sinkender Konzentration.

Der Verlauf dieser Kurve entspricht fast genau der Absorptionsisotherme, die ja auch für Dämpfe bei normalen Drucken gilt, wie Versuche von Orme Masson und E. S. Richards[3]) über die Aufnahme von Wasserdampf durch Baumwolle, von Travers[4]) über die desselben Dampfes durch Baumwolle und Wolle und

[1]) Freundlich, Kapillarchemie 1909, S. 177 ff.
[2]) Ann. Phys. Chim. (III) 15, S. 179, 1845.
[3]) Proc. Roy. Soc. 78, 412 (1907).
[4]) Proc. Roy. Soc. 79, 204 (1907).

solche von Trouton,[1]) der den gleichen Dampf durch Glaswolle absorbieren liess.

In der Nähe des Sättigungsdruckes muss sich allerdings die Benetzbarkeit eines Körpers zeigen, da sich dort der Dampf in Tröpfchen kondensieren wird. Dies scheint mir auch der Grund für das Emporschnellen der Werte zwischen $7^1/_2$- und 5 %iger Säure zu sein, während tatsächlich der Boden selbst keinerlei Veränderungen erfahren hat.

Die Rodewald-Mitscherlichsche Methode ist also augenscheinlich für derartige Untersuchungen hervorragend geeignet, wenn sie auch in der Apparatur noch gewisse Mängel zeigt, die namentlich ein Verstäuben der Substanz häufig vorkommen lassen. Da es sich aber in allen Fällen lediglich um Vergleichswerte handelt, dürfte die Methode auch schon in ihrer jetzigen Form vollkommen brauchbar sein.

III.

Die Frage, ob die Veränderung der Bodenkolloide durch Frost und Hitze nicht auch unter Umständen die Beschaffenheit der im Boden angesammelten Pflanzennährstoffe beeinflussen kann, liegt gewiss nahe, und ihre Lösung ist schon verschiedentlich versucht worden. Da anzunehmen war, dass die Löslichkeit derselben ein Bild von der Art dieser Beeinflussung geben würde, hat bereits Richter[2]) die Bestimmung des löslichen Stickstoffes herangezogen, um die Veränderung des Bodens durch Sterilisation festzustellen. Des weiteren ist bekannt, dass stark kolloidhaltige Marschböden durch blosses Austrocknen deutliche Erhöhung der Löslichkeit wichtiger Pflanzennährstoffe, so der Phosphorsäure und des Kalis[3]) aufweisen. Eine ähnliche Wirkung ist von Tacke[4]) hinsichtlich der Löslichkeit von Schwefelsäure und Kalk bei gefrorenem Seeschlick beobachtet worden. Es ist eine bekannte Tatsache, dass die Sterilisation nicht nur auf die Bodenkolloide gelbildend einwirkt, sondern dass sie auch stets von einer chemischen Aufschliessung begleitet ist. Auf diesen Umstand weist eine ganze Reihe von Forschern hin, so

[1]) Proc. Roy. Soc. 79, 383 (1907).
[2]) Landw. Versuchs-Stationen 1896, 47, S. 269.
[3]) Mitt. d. Landw. Ges. 4, 18—19 (1902).
[4]) Landw. Jahrb. 12, 225 (1883).

u. a. Dietrich[1]) in Marburg, C. Schulze,[2]) Krüger und Schneidewind,[3]) Koch und Lüken[4]) und Richter.[5]) Die Wirkung der Bodensterilisation selbst stellt sich durchweg als eine Schädigung des Pflanzenwachstums dar, die als höchst bemerkenswerte Begleiterscheinung die Tatsache hat, dass die an sich geschädigte Pflanze eine ganz auffallende Luxuskonsumtion an Stickstoff betreibt. (Ich verweise auch auf die bei meinen Vegetationsversuchen gefundenen Resultate.)

Es liegt wohl der Gedanke nahe, die Schädigung durch das Sterilisieren mit der damit stets verbundenen Abtötung der Mikroorganismen in Zusammenhang zu bringen, doch würde dem einmal die erwähnte Luxuskonsumtion der Pflanze an N widersprechen, ferner zeigen sich meistens derartige Unterschiede im Wachstum der Pflanzen in sterilisierten und nicht sterilisierten Gefässen, dass man genötigt ist, den Grund dafür in Veränderungen zu suchen, die der Boden selbst durch das Sterilisieren erleidet.

Die Schädigung zeigt sich zunächst in einer eigentümlichen gelbbraunen bis braunroten Verfärbung der jungen Blätter, die einer Schädigung durch saure Rauchgase ausserordentlich ähnlich sieht. Nach Richter soll sich auch in der Erde selbst stellenweise diese Braunfärbung beobachten lassen. Die Krankheitserscheinungen an den Blättern verschwinden jedoch nach einiger Zeit und man kann deutlich eine merkliche Besserung wahrnehmen, ja die Pflanzen, die anfangs stark zurückgeblieben sind, holen schliesslich die auf nicht sterilisierten Böden wachsenden Pflanzen ein und zeigen einen viel höheren N-Gehalt als diese.

Diese Erscheinung ist in neuerer Zeit auch von Pfeiffer[6]) beobachtet worden und findet in seiner Arbeit „Der Stickstoffhaushalt des Ackerbodens“ Erwähnung.

Richter hat nun die Veränderungen, die der Boden durch das Sterilisieren erleidet, nach vielen Richtungen hin untersucht und findet, dass ein Teil der im Boden befindlichen Stickstoffmenge durch das Sterilisieren in eine leichter lösliche Form übergeführt wird.

---

[1]) Jahresber. der landw. Versuchsstation Marburg, 1901/2, 6.
[2]) Landw. Versuchs-Stationen 65, 1906, S. 137.
[3]) Landw. Jahrb. 28, 1899, 224.
[4]) Journ. f. Landwirtschaft 55 (1909).
[5]) Landw. Versuchs-Stationen 47, 1896, S. 269ff.
[6]) Mitt. d. landw. Inst. d. Univ. Breslau 1909, Bd. IV, Heft 5.

Richter[1]) findet an salzsäurelöslichem Stickstoff in

unsterilisiertem Boden	0.439 g,
sterilisiertem Boden ohne vorherige Befeuchtung .	0.718 „
nach vorheriger Befeuchtung	0.766 „.

Ferner hat sich bei Richter die Gesamtmenge der in kaltem Wasser löslichen Substanz nach der Sterilisation beinahe verdoppelt, während der darin enthaltene Anteil an organischer Substanz beinahe auf das Dreifache gestiegen ist. Richter geht daher von der Ansicht aus, dass das sich zu Beginn der Wachstumsperiode zeigende Krankheitsbild eine Folge der Zersetzung organischer, wahrscheinlich humoser Substanzen ist, „deren anfänglich zu konzentrierte Lösung die Wurzeln zu schädigen scheint".

Die Frage spitzt sich nun dahin zu, ob diese Veränderungen durch das Sterilisieren nicht auch wenigstens teilweise mit den kolloiden Veränderungen im Boden in Zusammenhang gebracht werden können. Wäre dies der Fall, oder wäre wenigstens die aufschliessende Wirkung der Sterilisation erst eine sekundäre, so läge wohl die Vermutung nahe, dass auch der Frost, der doch wie die Hitze koagulierend wirkt, ähnliche Wirkungen auf die Pflanzennährstoffe im Boden zu äussern vermöchte, wie das Sterilisieren. Theoretisch wäre es denkbar, dass, da beim Gefrieren des im Boden befindlichen Wassers die Konzentration der verschiedenen Salze steigt, auch der Stickstoff in eine Form übergeführt wird, die seine Aufnahme durch den pflanzlichen Organismus erleichtert. Diese Überlegungen veranlassten mich, die bereits von Richter gewählte Methode heranzuziehen, um durch Bestimmung der Menge des löslichen Stickstoffes die vorliegende Frage zu lösen.

Zur Bestimmung wurden jedesmal je 500 g der betreffenden Bodenart mit 2000 ccm H_2O bezw. HCl vom spez. Gew. 1.035 durch je 2 Stunden mit der Maschine ausgeschüttelt, filtriert, und von jedem Filtrat zweimal je 750 ccm abgefüllt. Jeder Probe wurden einige Tropfen Schwefelsäure zugesetzt, um den Stickstoff in Form von Ammonsulfat zu binden. Die Proben wurden abgedampft und in dem Rückstand der Stickstoff nach Kjeldahl bestimmt.

[1]) Landw. Versuchs-Stationen 47, 1896, S. 274.

Dabei ergaben sich hinsichtlich der dem Frost unterworfen gewesenen Bodenproben Resultate, die im höchsten Maſse überraschen mussten. Es stellte sich heraus, dass durch den Frost die Löslichkeit des Stickstoffes nicht nur nicht erhöht, sondern vielmehr in erheblichem Maſse herabgedrückt wurde.

Wir dürften es hier mit Erscheinungen zu tun haben, die an die Absorption von Salzen durch koagulierende Eiweisskörper erinnern. Andererseits ist die Tatsache bekannt, dass gerade die Kieselsäure, jenes im Boden so häufige Kolloid, die Eigenschaft besitzt, einige Salze, wie Kalium, Natrium, Nitrat, Chlorid und Sulfat zu absorbieren. Als bewiesen ist ferner anzusehen, dass ein Kolloid, das aus einem auch andere Stoffe in Lösung enthaltenden Dispersionsmittel koaguliert, diese auch teilweise in seinen Mizellen absorbiert.[1]) Eine weitere Deutung in diesem Sinne findet sich in einer Arbeit von Feigel und Rollet,[2]) wo durch Darreichung von Lysargin an Versuchstiere eine Steigerung der Produktion von Magensaft nachgewiesen wird. Nach Ansicht der Verfasser ist diese Steigerung darauf zurückzuführen, dass das in den Magen gelangende Lysargin unter dem Einfluss der sauren Magensäfte koaguliert, gleichzeitig aber Magensaft selbst absorbiert, und dadurch die Sekretion desselben steigert.

Was aber die Erniedrigung der Löslichkeit des Stickstoffes durch Frost anlangt, so scheint es demnach, als ob die Bodenkolloide im Zusammenhang mit der durch die rein physikalische Frostwirkung hervorgerufenen Koagulation die in ihrer Umgebung befindlichen Nährsalze, insbesondere die Stickstoffverbindungen absorbierten, eine Fähigkeit, die ihnen im Solzustand anscheinend abgeht. Allerdings muss zugegeben werden, dass diese Resultate nicht mit denjenigen übereinstimmen, die Tacke gefunden hat, der auch durch den Frost eine Erhöhung der Löslichkeit des Stickstoffes feststellte.

Es fragt sich nun, ob die durch den Frost koagulierten kolloiden Systeme im Boden die Fähigkeit besitzen, Salze so zu absorbieren, dass diese später weder durch Wasser noch durch Salzsäure wieder zugänglich gemacht werden können. Zwar sind die Zustandsänderungen der Humuskolloide sehr beständig, doch

---

[1]) Van Bemmelen, Zeitschr. f. anorg. Chem. 4, 1897, 296.
[2]) Biochem. Zeitschr. 8, 1908, S. 177.

muss es immerhin verwundern, dass diese Beständigkeit so weit geht, selbst der Einwirkung von Säure standzuhalten. Die Frage ist jedenfalls nicht ohne weiteres zu lösen, da zweifellos im Boden eine Reihe von verschiedenen Faktoren sich gegenseitig beeinflussen, deren Bedeutung zu ergründen bis heute teilweise noch nicht gelungen ist.

Die Tatsache, dass durch den Forst eine Verminderung der löslichen Menge Stickstoff herbeigeführt wird, dürfte wohl durch die nachstehenden Untersuchungen ziemlich einwandfrei festgestellt werden. Man wird sich nun unwillkürlich fragen, worin denn dann eigentlich die bekannte günstige Wirkung des Frostes besteht. Wäre diese Frage nicht am besten dahin zu beantworten, dass der Frost in zwei Richtungen zu wirken vermag? Einmal wäre es seine gelbildende, rein physikalische Wirkung, die durch die Auflockerung des Bodens unzweifelhaft für die Pflanze günstigere Lebensbedingungen schafft, und so dem Pflanzenwuchs direkt nützt. Auf der anderen Seite würde sich der Frost jedoch dadurch ungünstig äussern, dass er durch Absorption der verschiedenen Stickstoffverbindungen der Pflanze die Nährmedien entzieht und sie dadurch schwächt. In der Praxis wird sich ja die Frostwirkung allgemein als günstig darstellen, indem wohl in den meisten Fällen dem Boden eine genügend grosse Stickstoffmenge, mag sie nun erst durch künstliche Düngung zugeführt oder durch den Pflanzenwuchs selbst geschaffen worden sein, zur Verfügung steht, um die Frostwirkung in dieser Hinsicht grösstenteils zu paralysieren.

Bei der Sterilisation würde sich wohl ein ähnliches Bild ergeben, wenn nicht neben der Gelbildung auch eine rein chemische Aufschliessung von Nährstoffen stattfände.

Die folgende Tabelle enthält die Einzelergebnisse der in dieser Richtung geführten Untersuchung, bei der jedesmal 750 ccm der betreffenden Lösung untersucht wurden.

Die Wahl einer Salzsäure von gerade 1.035 spez. Gew. erfolgte nicht willkürlich, sondern in Anlehnung an die bereits erwähnte Arbeit von Richter. Dieser konnte bei einer Salzsäure von spez. Gew. 1.026 noch keine bedeutende Lösung von Nährstoffen konstatieren, während ihm eine Salzsäure vom spez. Gew. 1.035 befriedigende Resultate gab.

Tabelle X.

Bestimmung des löslichen Stickstoffs im Boden.

	Ackerkrume		Untergrund	
	H_2O	HCl	H_2O	HCl
Naturfrisch.				
Gesamt-N in Gramm	0.0066	0.0236	0.0043	0.0193
In Prozenten der Trockensubstanz	0.0013	0.0054	0.0008	0.0038
Sterilisiert.				
Gesamt-N in Gramm	0.0374	0.0442	0.0137	0.0208
In Prozenten der Trockensubstanz	0.0075	0.0103	0.0027	0.0041
Gefroren.				
Gesamt-N in Gramm	0.0006	0.0167	0.0039	0.0157
In Prozenten der Trockensubstanz	0.0001	0.0038	0.0008	0.0034

Zur Kontrolle wurde noch ein zweiter Versuch mit einem milden Lehm ausgeführt, der in gleicher Weise behandelt wurde, und bei dem sich die Ergebnisse bei einer mittleren Trockensubstanz von 117.49 g auf 750 ccm Lösung folgendermassen darstellten:

Tabelle XI.

Milder Lehm.

	Naturfrisch		Gefroren	
	H_2O	HCl	H_2O	HCl
Gesamt-N in Gramm	0.0038	0.0095	0.0024	0.0081
N in Prozenten der Trockensubstanz	0.0029	0.0074	0.0018	0.0062

Es zeigt sich also auch hier eine deutliche Verminderung der Löslichkeit des Stickstoffes im gefrorenen Boden gegenüber dem naturfrischen.

Dem Einwurf, dass doch die Salzsäure in ihrer Eigenschaft als Elektrolyt doch auch gelbildend und somit die Löslichkeit des Stickstoffes herabsetzend wirken müsste, glaube ich am besten durch den Hinweis zu begegnen, dass ja zweifellos bei

der Salzsäure der physikalische Prozess durch eine chemische Aufschliessung verdeckt wird, die auch so stets höhere Werte zu geben vermag als die Löslichkeit in Wasser. Die Tatsache, dass der Frost zu einer Absorption der Nährstoffe im Boden führt, könnte schliesslich als einleuchtende Erklärung für einige Erscheinungen bei den Vegetationsversuchen herangezogen werden, die im nächsten Abschnitt besprochen werden sollen.

IV. Vegetationsversuche.

Ausgehend von der Annahme, dass die Pflanze selbst Veränderungen der im Boden befindlichen Pflanzennährstoffe am besten registrieren müsste, habe ich versucht, auch durch den Vegetationsversuch Beiträge zu der vorliegenden Frage zu finden. Die Vegetationsversuche waren Topfversuche, und wurden in zwei Perioden in der Vegetationsanlage des agrikultur-chemischen Instituts der Universität Breslau in Rosenthal ausgeführt. Um jede mögliche Beeinflussung der kolloiden Bodeneigenschaften durch sich etwa bildende Metallsalze usw. zu vermeiden, wurden Tongefässe benutzt, deren Durchlüftung durch Ventilationsröhrchen aus Glas besorgt wurde. Die Versuche wurden so angeordnet, dass je drei Töpfe als Parallelgefässe fungierten, um zufällige Fehler nach Tunlichkeit auszuschalten. Die erste Vegetationsperiode sollte die Beeinflussung hochkolloidaler Böden demonstrieren, als deren Vertreter verschiedene Schlammsorten gewählt wurden, denen kolloidarmer Odersand beigemischt wurde. Es gelangten zur Verwendung Rosenthaler Teichschlamm aus dem Teiche des Versuchsfeldes, Seeschlick aus der Moorversuchsstation in Bremen und märkischer Faulschlamm. Nachdem die Gefässe auf eine Tara von 2500 g gebracht worden waren, wurden sie mit dem betreffenden Bodengemisch beschickt, das sich nach Massgabe des Trockensubstanzgehaltes aus 5000 g Sand und 500 g Schlamm bezw. 1500 g Faulschlamm, da letztere Schlammart ungefähr nur ein Drittel der Trockensubstanz aufwies, wie die beiden anderen. Zum Vergleiche wurden bei einzelnen Kategorien des Versuches mit reinem Sand beschickte Gefässe verwendet.

Die Behandlung umfasst die Beigabe von Elektrolyten, Hitze, Frost, Elektrizität und Düngung mit einer ausgesprochenen Nährlösung. Von Elektrolyten wurden zwei Vertreter gewählt, Chlorcalcium und Thoriumchlorid, als Repräsentanten eines zwei- und eines vierwertigen Elektrolyten.

Die Sterilisation erfolgte durch Behandlung mit gespannten Wasserdämpfen zwei Stunden lang bei einem durchschnittlichen Druck von drei Atmosphären. Die zum Frieren bestimmten Gefässe wurden nicht gleich beschickt, vielmehr wurde ihr Inhalt in Gummisäcken in den Gefrierkammern der Brauerei Haase dem Froste ausgesetzt. Die Frostdauer betrug jedoch leider in allen Fällen nur vier Tage, und erfolgte ohne Unterbrechung durch Auftauen.

Als Nährlösung wurde ein Gemisch von KH_2PO_4, KNO_3 und NH_4NO_3 den Gefässen zugesetzt. Ausserdem wurden je drei mit Nährlösung versehene Gefässe dem Frost ausgesetzt, da erwartet wurde, dass der Frost hier besonders günstig wirken würde. Zur Feststellung der Einwirkung des elektrischen Stromes wurden die dazu bestimmten Gefässe durch 24 Stunden einem Strom von 0.025 Amp. ausgesetzt. Als Elektroden dienten Kohlenstäbe.

Am 24. Mai waren alle Gefässe beschickt und behandelt und es konnte noch an diesem Tage die Aussaat vorgenommen werden. Als Versuchspflanze diente Hafer. Am nächsten Tage wurden die Gefässe auf ein gleiches Gewicht von 9100 g gebracht, das im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode alle drei Tage durch Wägung geprüft und durch Wasserbeigabe erhalten wurde.

Schon am 2. Juni war bei sämtlichen mit Rosenthaler Teichschlamm beschickten Gefässen eine augenscheinliche Schädigung zu beobachten. Die Pflanzen waren nicht nur gegenüber den anderen stark zurückgeblieben, sie zeigten fast durchweg Vergiftungserscheinungen und wiesen eine eigenartige braungelbe bis rotbraune Färbung der Blätter auf. Anscheinend befanden sich in dem Schlamm organische Fäulnisprodukte, die noch weiter in Zersetzung begriffen waren und so den Pflanzenwuchs aufhielten. Am 8. Juli waren die Teichschlammgefässe fast gänzlich abgestorben, so dass ich mich gezwungen sah, den Versuch vorzeitig abzubrechen. Die Pflanzen waren bei den meisten Gefässen beinahe vollkommen zerstört und zeigten durchwegs Spuren organischer Schädigung. Da infolge der sehr geringen Substanzmengen die Ausführung der Stickstoffbestimmungen in diesem Falle unmöglich war, und die vorgenommenen Messungen der Halmlängen keinerlei Anhaltspunkte gaben, soll über diesen Versuch hinweggegangen werden. Die anderen Versuche gingen weiter und wurden nach ungefähr 6wöchentlicher Dauer beendigt. Die Substanzen, die zur Untersuchung gelangten,

waren lediglich die Halme, die mittels einer Schere abgeerntet wurden. Sie wurden in naturfrischem Zustande gewogen, an der Luft getrocknet und ihr Stickstoffgehalt nach Kjeldahl bestimmt.

Bei Berücksichtigung der durch die Vegetationsversuche gefundenen Werte wird man allerdings zu bedenken haben, dass gerade bei Versuchen in einzelnen Gefässen eine ganze Reihe von Faktoren in Wirkung treten kann, die auszuschalten unmöglich ist. Wenn daher das auf diese Weise gewonnene Bild keineswegs klar ist, und vielfach Abweichungen und scheinbar unmotivierte Schwankungen aufweist, so wird man dies eben diesem Umstande zuzuschreiben haben. Die scharfe Einwirkung der Sonnenstrahlen und die täglich zugeführten nicht unerheblichen Wassermengen scheinen imstande zu sein, gewisse Veränderungen hervorzurufen, die das Bild der Beeinflussung der Bodenkolloide stark zu trüben vermögen. Diese Trübung wird sich hier um so mehr äussern, als es sich um relativ geringe Mengen handelt, deren Veränderung vielleicht nicht einmal nachhaltender Natur gewesen zu sein scheint.

Da sich auch Abweichungen prinzipieller Art zwischen der ersten und zweiten Versuchsreihe ergaben, scheint auch die Jahreszeit einige Bedeutung zu besitzen, eine Tatsache, auf die schon Koch und Lüken[1]) hinweisen. Die Erklärung der verschiedenen Erscheinungen wird sich im wesentlichen auf den Versuch einer Deutung zu beschränken haben, da die Kolloidchemie selbst über eine Reihe von Fragen noch keinen genauen Aufschluss zu geben vermag.

Die folgende Tabelle zeigt die Gewichte der Erntemengen der ersten Versuchsperiode unmittelbar nach dem Abernten.

Tabelle XII.

Erntegewichte in Gramm.

	Sand	Schlick	Faulschlamm
Unbehandelt	1.5	3.0	3.4
$CaCl_2$	—	2.8	3.7
$ThCl_4$	—	2.8	4.2
Nährlösung	9.4	8.9	14.7
Nährlösung gefroren	10.7	6.1	2.9
Sterilisiert	—	0.7	1.7
Frost	—	3.0	2.9
Elektrizität	—	2.8	2.4

[1]) Journ. f. Landwirtschaft 55, 1907.

Es ist augenscheinlich, dass auch hier im allgemeinen die Schlammsorten relativ pflanzenschädigende Faktoren enthielten. Jedoch lässt sich trotzdem erkennen, dass der Frost im allgemeinen auf die Pflanzennährstoffe selbst nicht günstig gewirkt hat. Es lässt sich nicht verkennen, dass die gefrorenen, mit Nährlösung beschickten Böden ungleich geringere Erträge geliefert haben, als die mit Nährlösung beschickten ohne Frost. Nur der Sand macht hier eine Ausnahme, und die Erklärung liegt nahe, dass hier, bei dem kolloidarmen Boden, keine oder wenigstens nur äusserst geringe Koagulation platzgegriffen hat, so dass auch eine Absorption von Nährstoffen nicht erfolgt ist, vielmehr diese von der Pflanze voll ausgenutzt werden konnten. Die ungünstige Wirkung der Sterilisation auf den Reinertrag ist eben lediglich der bereits erwähnten Erscheinung zuzuschreiben, wobei es sich augenscheinlich gleichfalls um eine weitere Aufschliessung gewisser pflanzenschädlicher Faktoren handeln dürfte. Die ungünstige Wirkung der Elektrizität ist vermutlich gleichfalls auf eine ähnliche Erscheinung zurückzuführen.

Das Bild, das sich durch die Bestimmung des Stickstoffs ergeben hat, ist im wesentlichen ein ähnliches. Die folgenden Tabellen zeigen den Prozentgehalt an Stickstoff, sowie dessen Gesamtmenge berechnet auf die Trockensubstanz der Erntegewichte. Nur bei den mit Nährlösung gedüngten Pflanzen konnten die Bestimmungen bei jedem Gefäss für sich vorgenommen werden, bei den übrigen musste die Erntesubstanz von 3 Parallelgefässen nach sorgfältiger Durchmischung zur Untersuchung kommen.

(Siehe die Tabelle XIII auf S. 38.)

Bei Beurteilung der durch die Stickstoffbestimmung gefundenen Werte wird es auffallen, dass vielfach der Gehalt an Stickstoff nicht mit dem Gewicht der gewonnenen Erntesubstanz übereinstimmt. Man sollte erwarten, dass einer besser entwickelten, an Gewicht schwereren Pflanze auch ein höherer Stickstoffgehalt entsprechen sollte; dies scheint jedoch nicht der Fall zu sein. So zeigt sich z. B. hinsichtlich der Gefässe mit gefrorener Nährlösung auch beim Sande ein geringes Sinken des N-Gehaltes, eine Tatsache, die beweist, dass doch eine schwache Koagulation stattgefunden hat, durch die ein Teil der Nährstoffe absorbiert worden ist. Andererseits zeigt die Sterilisation ein

Tabelle XIII.

Stickstoffbestimmungen der ersten Ernte.

	Sand	Schlick	Faulschlamm
Unbehandelt.			
N in Prozenten	1.33	3.50	1.68
Gesamt-N in Gramm	0.019	0.105	0.058
$CaCl_2$.			
N in Prozenten	—	1.52	1.31
Gesamt-N in Gramm	—	0.042	0.048
$ThCl_4$.			
N in Prozenten	—	1.30	1.28
Gesamt-N in Gramm	—	0.036	0.053
Nährlösung.			
N in Prozenten	3.52	3.72	2.89
Gesamt-N in Gramm	0.310	0.319	0.381
Nährlösung gefroren.			
N in Prozenten	2.95	3.53	1.52
Gesamt-N in Gramm	0.295	0.222	0.045
Sterilisiert.			
N in Prozenten	—	3.66	4.43
Gesamt-N in Gramm	—	0.021	0.070
Frost.			
N in Prozenten	—	1.58	1.62
Gesamt-N in Gramm	—	0.047	0.047
Elektrizität.			
N in Prozenten	—	1.58	1.76
Gesamt-N in Gramm	—	0.044	0.042

relatives Hinaufschnellen des Gehaltes an Stickstoff, eine Erscheinung, die bereits früher zu deuten versucht wurde.

Warum schliesslich die Elektrizität beim Schlick schädigend, beim Faulschlamm fördernd gewirkt hat, mit Sicherheit zu erklären, ist nicht möglich. Vielleicht spielen hier elektrolytische Vorgänge eine Rolle, deren Wirkung jedoch nicht festzustellen ist.

Schliesslich soll auch noch der zweite Vegetationsversuch Erwähnung finden.

Da die in der ersten Versuchsreihe verwendeten Schlammsorten alle in stärkerem oder geringerem Maſse pflanzenschädliche Stoffe zu enthalten schienen, wurden diesmal zu den Versuchen reine Kulturböden herangezogen. Es wurden gewählt reiner Sand, Rosenthaler Ackerboden und ein lehmiger Sand von dem Rittergute Obra bei Krotoschin. Die Gefässe wurden ebenfalls auf 2500 g tariert und nach Massgabe der Trockensubstanz der einzelnen Bodenarten mit folgenden Gewichtsmengen beschickt:

Sand	5500 g,
Rosenthaler Ackerboden .	4100 „
Lehmiger Sand	5000 „.

Die Behandlung war analog der in der ersten Versuchsreihe, nur wurde eine Lösung von 1 g KH_2PO_4 und 0.5 g KNO_3 pro Gefäss verwendet.

Die Aussaat erfolgte am 19. Juli, am 23. Juli zeigten sich die ersten Keimspitzen.

Die Gefässe erhielten Wasser in Prozenten der Trockensubstanz der Böden abzüglich ihres ursprünglichen Feuchtigkeitsgehaltes: Sand 10 %, Rosenthaler Boden 20 % und lehmiger Sand 14 %, was einem Gesamtgewicht entsprach:

Sandgefässe	8530 g,
Gefässe mit Rosenthaler Boden .	7260 „
„ „ lehmigem Sand . .	8280 „.

Die morphologische Entwicklung der einzelnen Pflanzen war annähernd die gleiche, wie bei der ersten Versuchsreihe. Zu erwähnen ist, dass die elektrisierten Gefässe mit Rosenthaler Boden zu Anfang eine äusserst kräftige Entwicklung zeigten, die allerdings im Laufe des Versuches allmählich wieder schwand. Es wurde nun versucht, die tägliche Wachstumszunahme bei jeder einzelnen Pflanze durch Messungen, die alle drei Tage wiederholt wurden, festzustellen, um auf diesem Wege die Art der Beeinflussung der Bodenkolloide zu ergründen. Trotzdem diese mühsame und sehr zeitraubende Arbeit durch einen Zeitraum von vier Wochen hindurch fortgesetzt wurde und auch ein ziemlich umfangreiches Zahlenmaterial zusammen kam, liessen sich daraus absolut keine Schlüsse ziehen, da die einzelnen Resultate sehr schwankend waren und keinerlei Regelmässigkeit aufwiesen. Nach ungefähr 4wöchentlicher Dauer wurden die Versuche abgebrochen. Da im vorliegenden Falle auch die

Wurzelsubstanz untersucht werden sollte, wurden die Versuchspflanzen nicht wie beim ersten Versuch einfach abgeschnitten, sondern durch vorsichtiges Auswaschen entfernt. Trotz der angewandten Vorsichtsmassregeln war es jedoch nie ganz zu vermeiden, dass kleine Wurzelreste abrissen und in der Erde zurückblieben, andererseits gelang es nicht in allen Fällen, von den ihnen anhaftenden kleineren Erdresten völlig zu säubern.

Tabelle XIV.

Ergebnisse der zweiten Vegetations-Periode.

	Sand		Rosenthaler Boden		Lehmiger Sand	
	Halme	Wurzeln	Halme	Wurzeln	Halme	Wurzeln
	g	g	g	g	g	g
Erntegewichte . .	2.40	2.92	4.27	3.69	3.71	3.74
Gesamt-N	0.033	0.019	0.105	0.048	0.080	0.047
N in Prozenten . .	1.53	0.65	2.68	1.30	2.17	1.27
			$CaCl_2$.			
Erntegewichte . .	2.50	2.70	4.39	3.54	3.53	4.20
Gesamt-N	0.071	?	0.115	0.043	0.076	0.045
N in Prozenten . .	1.48	?	2.64	1.22	2.15	1.07
			$ThCl_4$.			
Erntegewichte . .	2.23	2.50	4.39	3.42	3.36	3.86
Gesamt-N	0.028	0.021	0.116	0.040	0.072	0.036
N in Prozenten . .	1.29	0.85	2.65	1.19	2.16	0.95
			Nährlösung.			
Erntegewichte . .	3.90	4.87	5.56	3.50	5.72	5.05
Gesamt-N	0.079	0.024	0.168	0.082	0.136	0.050
N in Prozenten . .	2.02	0.61	3.03	2.36	2.46	0.99
			Nährlösung gefroren.			
Erntegewichte . .	3.73	3.86	5.50	5.10	4.81	3.72
Gesamt-N	0.086	0.036	0.131	0.059	0.120	0.042
N in Prozenten . .	2.32	0.95	2.39	1.17	2.50	1.15
			Sterilisiert.			
Erntegewichte . .	2.53	2.99	3.35	2.22	3.32	3.72
Gesamt-N	0.041	—	0.146	—	0.138	—
N in Prozenten . .	1.63	0.56	4.36	1.09	4.16	0.72
			Frost.			
Erntegewichte . .	3.23	2.81	3.91	4.10	3.14	3.01
Gesamt-N	0.029	0.022	0.081	0.050	0.058	0.033
N in Prozenten . .	1.26	0.80	2.08	1.22	1.85	1.12

	Sand		Rosenthaler Boden		Lehmiger Sand	
	Halme g	Wurzeln g	Halme g	Wurzeln g	Halme g	Wurzeln g
Elektrizität.						
Erntegewichte . .	2.20	2.60	4.39	3.20	3.64	3.50
Gesamt-N	0.022	0.019	0.092	0.034	0.087	0.038
N in Prozenten . .	1.01	0.73	2.11	1.07	2.40	1.09

Es zeigt sich auch hier, dass die Gehalte an N keineswegs immer mit einem höheren oder niederen Erntegewicht übereinstimmen. Vielmehr sind die Resultate leider so schwankend, dass man hier keineswegs von unfehlbar sicheren Bestätigungen der theoretischen Erwägungen durch die Praxis sprechen kann.

Die Tatsachen, die sich jedoch aus dem zweiten Versuche erkennen lassen, sind folgende:

Die Wirkung der Elektrolyten scheint im wesentlichen in einer Giftwirkung zu bestehen, so dass die eigentliche Beeinflussung der Bodenkolloide nicht mehr zu erkennen ist.

Düngungen mit einer Nährlösung wirken naturgemäss günstig, doch wird diese Wirkung durch einen nachfolgenden Frost zum Teil wieder aufgehoben. Es handelt sich wohl zweifellos um die bereits erwähnte Absorption von Nährsalzen durch die koagulierenden Bodenkolloide. Auch beim Sande hat anscheinend diese Koagulation stattgefunden, da sich auch hier eine günstigere Wirkung beim ungefrorenen, mit Nährlösung beschickten Boden zeigt. Der Frost allein hat beim Sande günstig, beim Rosenthaler Boden ungünstig und beim lehmigen Sand indifferent gewirkt. Die Wirkung der Sterilisation hat den Erwartungen entsprochen, während anscheinend der günstige Einfluss der Elektrizität auf den Rosenthaler Boden auf einer gewissen Reizwirkung zu beruhen scheint, wie sie A. B. Plowmann[1]) annimmt.

Alles in allem geben die Vegetationsversuche kein so klares Bild, wie es wohl wünschenswert wäre. Wie bereits erwähnt, haben wir es bei der Entwicklung unserer Nutzpflanzen mit einer ganzen Reihe der verschiedensten Faktoren zu tun, deren richtige Wertschätzung und Beurteilung schwierig, wenn nicht

[1]) Americ. Journ. of science, 14 Bd., 1902, S. 129.

überhaupt unmöglich ist. Ich glaube daher nicht, den Ergebnissen der Vegetationsversuche gegenüber den im Laboratorium festgestellten Tatsachen grundlegenden Wert beilegen zu müssen, wenn sie auch, wenn auch nur ungenügend, die Tatsache der Absorption von Nährstoffen durch Gele, die durch den Frost koaguliert wurden, zu beweisen scheinen.

Jedenfalls hat es den Anschein, als ob Vegetationsversuche zum Nachweis rein physikalischer Veränderungen im Boden nicht geeignet sind, weil eben zu viele Umstände dabei in Frage kommen, die eine physikalische Veränderung zu verdecken imstande sind, ja unter Umständen direkt falsche Vorstellungen über die Art und Natur dieser Veränderungen erwecken können.

Fassen wir die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in Kürze nochmals zusammen, so ergeben sich folgende Tatsachen:

1. Frost, Hitze und Elektrolyte bewirken eine Verkleinerung der Bodenoberfläche durch Koagulation der Bodenkolloide, und zwar sind beim Frost die Dauer und der Wechsel der Einwirkung massgebend.

2. Durch Frost koagulierte Bodenkolloide absorbieren zum Teil die in Lösung befindlichen Pflanzennährstoffe, so dass deren lösliche Menge abnimmt.

3. Bei der Sterilisation tritt im Gegensatz dazu eine erhöhte Löslichkeit des Stickstoffes auf, die jedoch auf eine rein chemische Aufschliessung zurückzuführen ist.

Bei der verhältnismässig kurzen Zeit, die der Kolloidchemie zu ihrem Ausbau zur Verfügung stand, sowie angesichts des ausserordentlichen Umfanges des ganzen Gebietes, kann es nicht verwundern, wenn die Erfahrungen in vielfach nur ungenügendem Mafse vorliegen. Andererseits ist das zur Verfügung stehende Material zum Teil selbst noch so unerklärt, dass es schwer fällt, in vielen Fällen geeignete Erklärungen für einzelne Erscheinungen zu finden.

In solchen Fällen wird man sich begnügen müssen, Hypothesen aufzustellen, deren Beweis oder Widerlegung der Zukunft überlassen bleiben muss. Tatsächlich ist aber die Kolloidchemie imstande, gerade auf dem Gebiete der Agrikulturchemie viele Fragen zu lösen, die bis jetzt der wissenschaftlichen Erklärung vorenthalten waren.

Lebenslauf.

Am 9. Juli 1887 wurde ich als Sohn des Ingenieurs und Gutsbesitzers Wilhelm Czermak und seiner am 5. Januar 1910 verstorbenen Gattin Friederike geb. Baronin Sochor von Friedrichsthal zu Markt Aussee in Steiermark geboren.

Meine wissenschaftliche Ausbildung genoss ich auf den Gymnasien zu Troppau (Öst. Schlesien), Mähr. Ostrau und Weimar. Hier erwarb ich Ostern 1906 das Zeugnis der Reife. Ich bezog hierauf die Universität zu Jena, um mich dem Studium der Landwirtschaft zu widmen, neben dem ich auch juristische Studien betrieb. Vom Oktober 1907 bis Oktober 1908 genügte ich meiner Dienstpflicht als Einjährig-Freiwilliger beim k. und k. Feldhaubitzregiment „Erzherzog Wilhelm“ No. 3 in Graz und studierte ab Wintersemester 1908/09 an der Universität in Breslau, wo ich am 21. Dezember 1910 das Examen rigorosum bestand. Seit 1. Oktober 1910 habe ich eine Stellung als Assistent am Institute für landw. Pflanzenproduktionslehre bei Herrn Prof. Dr. von Rümker inne.

Während meiner Studienzeit besuchte ich die Vorlesungen und Übungen folgender Herren Professoren und Dozenten:

† Abegg, Danz, Edler, Ehrenberg, Ehrlich, Fehr, Frech, Harms, Herz, Holdefleiss, Immendorff, Knorr, Kniep, Ladenburg, Lummer, v. Nathusius, Pfeiffer, Pierstorff, Quante, Renz, v. Rümker, Sackur, Seeger, Thon.

Allen diesen Herren spreche ich an dieser Stelle hiermit meinen aufrichtigsten Dank aus.

Zu ganz besonderem Dank fühle ich mich meinem hochverehrten Lehrer Herrn Prof. Dr. Th. Pfeiffer sowie Herrn Prof. Dr. P. Ehrenberg (Hann. Münden) für die Anregung zu dieser Arbeit und das mir stets entgegengebrachte wohlwollende Interesse verpflichtet.